

Toni Luomanmäki

Mekanismien 3D-visualisointi virtuaalitilassa

Opinnäytetyö

Kevät 2011

Tekniikan yksikkö

Tietotekniikan koulutusohjelma

Mekatroniikka



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

OPINNÄYTETYÖN TIIVISTELMÄ

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö
Koulutusohjelma: Tietotekniikan koulutusohjelma
Suuntautumisvaihtoehto: Mekatroniikka

Tekijä: Toni Luomanmäki

Työn nimi: Mekanismien 3D-visualisointi virtuaalillassa

Ohjaajat: Markku Kärkkäinen, Tapio Hellman

Vuosi: 2011 Sivumäärä: 52 Liitteiden lukumäärä: 1

Tämä opinnäytetyö tehtiin Seinäjoen ammattikorkeakoulun Tekniikan yksikölle. Työn tavoitteena oli havainnollistaa erilaisten mekanismien toimintaperiaatteita 3D-visualisoinnin avulla virtuaalillassa (CAVE). Työn aikana visualisoitaviksi mekanismeiksi valikoituivat planeetta-, sykloidi- ja kulmavaihteet, joiden toimintaperiaatteiden ymmärtäminen staattisesta kuvasta saattaa usein olla hankalaa. 3D-visualisointi virtuaalillassa tarjoaa hyvän oppimisympäristön erilaisten monimutkaisten mekanismien toiminnan tarkasteluun.

Vaihteet mallinnettiin Autodesk Inventor -ohjelmalla yhdeksi kokoonpanomalliksi, joka konvertoitiin Autodesk 3ds Max -ohjelman kautta Virtools-ohjelmaan. Virtools-ohjelmalla rakennettiin sovellus, jonka avulla 3D-mallia on mahdollista tarkastella virtuaalillassa.

Lopputuloksena saatiin vuorovaikutteinen CAVE-sovellus, jossa käyttäjän on mahdollista tutkia vaihteiden rakenteita ja toimintaperiaatteita. Työ onnistui hyvin ja tuloksena saatu CAVE-sovellus auttaa käyttäjää ymmärtämään työhön valittujen mekanismien toimintaa staattista kuvaa helpommin. Työ oli kokonaisuudessaan haastava ja opettavainen prosessi 3D-mallintamisesta ja virtuaalitekniikasta.

Asiasanat: 3D, Inventor, 3ds Max, Virtools, Vaihteet, CAVE, Virtuaalitodellisuus

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology
Degree programme: Information Technology
Specialisation: Mechatronics

Author: Toni Luomanmäki

Title of the thesis: 3D-visualization of mechanisms in a virtual environment

Supervisors: Markku Kärkkäinen, Tapio Hellman

Year: 2011 Number of pages: 52 Number of appendices: 1

This thesis was done for Seinäjoki University of Applied Sciences, School of Technology. The purpose of this thesis was to demonstrate the operation of different mechanisms through the means of 3D visualization in a virtual environment (CAVE). The visualized mechanisms chosen for this thesis were planetary and cycloid gears and angular speed reducer, because understanding their functioning through a static picture may be difficult at times. 3D visualization in a virtual environment provides a good learning environment to observe and to understand the operation of different kind of complex mechanisms.

The gears were modeled with Autodesk Inventor software into a single assembly model, which was converted through Autodesk 3ds Max software into Virtools software. By using Virtools an application was built that gives possibility to view a 3D model in the virtual environment.

The end result was an interactive CAVE application, which allows the user to examine the structures and the operating principles of the gears. The work was successful and as a result the obtained CAVE application helps the user to understand the operation of the selected mechanisms more easily than by using static images. Overall the work was a challenging and educational process of 3D modeling and virtual technology.

Keywords: 3D, Inventor, 3ds Max, Virtools, Gear, CAVE, Virtual reality

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

SISÄLLYS

KÄYTETYT TERMIT JA LYHENTEET

KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO

1 JOHDANTO.....	11
1.1 Työn tausta	11
1.2 Työn tavoitteet	12
1.3 Työn rakenne	13
2 VAIHTEET	14
2.1 Hammasvaihteet	14
2.1.1 Planeettavaihde	15
2.2 Mekatroniikkavaihteet	16
2.2.1 Syklodivaihde	17
3 TYÖSSÄ KÄYTETTÄVIÄ OHJELMIA	18
3.1 Autodesk Inventor	18
3.2 MITCalc	19
3.3 Autodesk 3ds Max	20
3.4 Virtools	21
3.5 Autodesk Showcase.....	22
4 3D-MALLINNUS.....	23
4.1 3D-mallinnus suunnittelussa	23
4.2 Planeettavaihteen 3D-mallinnus.....	24
4.2.1 Osamallinnus	24
4.2.2 Kokoonpanomalli	26
4.3 Syklodivaihteen 3D-mallinnus	27
4.4 Kulmavaihteen 3D-mallinnus.....	29
4.4.1 Parametriset hammaspyörät ja laakerit	30

4.5	Lopullinen kokoonpanomalli	32
5	3D-MALLIN VIENTI VIRTOOLS-OHJELMAAN	33
5.1	3D-mallinnusohjelmien tiedostoformaattien yhteensopivuus	33
5.2	Inventor-kokoonpanomallin valmistelu Virtools-ohjelmaan	34
6	CAVE-SOVELLUKSEN LUONTI VIRTOOLSILLA	36
6.1	Alkutoimenpiteet	36
6.1.1	Valaistus	37
6.1.2	Initial Conditions -tilan asettaminen	38
6.1.3	Ryhmiä määrittäminen	38
6.2	Virtools-sovelluksen skriptit	39
6.2.1	VRNR-konfiguraatio	40
6.2.2	Pyörimisnopeusalueen määrittäminen ja skriptien prioriteetti	41
6.2.3	Initial Conditions -tilojen palautus sovelluksen ajon aikana	42
6.2.4	Vaihteiden rotaatio ja rotaatioarvojen laskeminen	43
6.2.5	Pyörimisnopeusarvojen esitys näytöllä	45
6.2.6	Osien tunnistus Wand-säteellä ja nimen tulostus näytölle	46
7	TULOKSET	48
7.1	3D-mallinnus	48
7.2	CAVE-sovellus	48
7.3	3D-visualisointi virtuaalillassa	50
8	YHTEENVETO	51
	LÄHTEET	52
	LIITTEET	53

KÄYTETYT TERMIT JA LYHENTEET

CAVE	Tila, johon luodaan tietokonelaitteiston avulla virtuaalisesti todentuntuinen ympäristö. Lyhenne tulee englanninkielisistä sanoista Cave Automated Virtual Environment.
2D	Kuva tai tiedosto, joissa on kaksi ulottuvuutta; pituus ja leveys.
3D	Malli tai tiedosto, joissa on kolme ulottuvuutta; pituus, leveys ja syvyys.
Wand-ohjain	CAVEssa käytetty sauva-ohjain, jolla voidaan navigoida ja kontrolloida virtuaalillassa.
VRPN-tekniikka	Lyhenne tulee englanninkielisistä sanoista Virtual Reality Peripheral Network.
Renderöinti	Prosessi, jossa tietokoneohjelman avulla luodaan 3D-mallista bittikarttagrafiikkaa laskemalla valaistuksen ja muiden tehosteiden vaikutusta 3D-malliin.
Parametrinen 3D-malli	3D-malli, jonka muotoa voidaan muuttaa mittalukujen avulla ilman uudelleen mallintamista.
Pivot-piste	Objektin paikallisen koordinaatiston origo, jonka suhteen objektin mahdolliset transformaatiot tehdään.
Initial Conditions	Alkutilanne, joka on mahdollista asettaa Virtools-ohjelmassa halutuille elementeille.

VRNR

Lyhenne tulee englanninkielisistä sanoista Virtual Reality Normalized Resources.

(3DVIA Virtools 2011; Tuhola & Viitanen 2008; Virtuaalilaboratorio 2010).

KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO

KUVA 1. Virtuaalinen Seinäjoki CAVEssa.....	11
KUVA 2. Wand-ohjain.	12
KUVA 3. Erityyppisiä hammasvälityksiä.....	14
KUVA 4. Planeettavaihteen rakenne.....	15
KUVA 5. Syklodivaihteen kaaviopiirros.	17
KUVA 6. 3D-malli Inventorissa.....	18
KUVA 7. MITCalc-ohjelmiston käyttöliittymä.	19
KUVA 8. Autodesk 3ds Maxin käyttöliittymä.....	20
KUVA 9. Virtoolsin käyttöliittymä.	21
KUVA 10. MITCalc-ohjelmiston vientivalikko.....	24
KUVA 11. Planeettapyörän geometria Sketch-tilassa.	25
KUVA 12. Kannatinakselin luonnos.	25
KUVA 13. Planeettavaihteen kokoonpano.	26
KUVA 14. Syklodivaihteen kaarrelevy ja ulkokehä luonnosteluvaiheessa.	27
KUVA 15. Syklodivaihteen valmiskokoonpano.	28

KUVA 16. Kulmavaihteen kotelo ja akselit.	29
KUVA 17. Design Accelerator -valikot.....	30
KUVA 18. Hammaspyöräparin mallinnus Design Accelerator -työkalulla.	30
KUVA 19. Laakeroinnin suunnittelu Bearing Generator -työkalulla.....	31
KUVA 20. Lopullinen vaihdekokoonpano.	32
KUVA 21. Inventor-kokoonpanomallin tuontiasetukset.....	34
KUVA 22. Reset Xform -toiminto.....	35
KUVA 23. Virtoolsin Schematic- ja Level Manager -tilat.	36
KUVA 24. 3D-mallin valaistus.	37
KUVA 25. Yhden suuntavalon asetukset.	37
KUVA 26. Esimerkki Building Block -elementillä toteutetusta objektin rotaatiosta.	39
KUVA 27. VRNR-konfiguraation eräs skripti.	40
KUVA 28. Pyörimisnopeusalueen määrittäminen.....	41
KUVA 29. Level-tason skriptien prioriteetit.	41
KUVA 30. Initial Conditions -tilojen palautus sovelluksen ajon aikana.....	42
KUVA 31. Rotaatioarvojen laskennassa käytetty skripti.	43
KUVA 32. Vaihteen osien rotaatio-skriptit.	44

KUVA 33. Nopeusarvojen tulostus CAVEn etuseinälle.	45
KUVA 34. Säteentunnistus-skripti.	46
KUVA 35. Syklodivaihteen osien nimien tulostus CAVEn etuseinälle.	47
KUVA 36. Käyttäjä tarkastelee vaihdekokoonpanoa CAVEssa.	49

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Seinäjoen ammattikorkeakoulun Tekniikan yksikön virtuaalilaboratorion CAVE-tilassa voidaan visualisoida erilaisia kolmiulotteisia malleja. Laitteisto heijastaa kohteen käyttäjän ympärille viidelle eri seinälle ja keinotodellisuus luodaan 3D-stereografiikalla ja tiläänijärjestelmällä. Tässä työssä CAVEa pyritään hyödyntämään opetuksellisessa tarkoituksessa mekanismien toiminnan selventämiseen. Kuvassa yksi käyttäjä tarkastelee virtuaalimallia CAVEssa.



KUVA 1. Virtuaalinen Seinäjoki CAVEssa. (Virtuaalilaboratorio 2010).

Usein liikkuvia osia sisältävien mekanismien toiminnan ymmärtäminen staattisesta kuvasta saattaa olla hankalaa. Tähän ongelmaan mekanismien 3D-visualisointi virtuaalilillassa tarjoaa hyvän ratkaisun, tällöin mekanismien rakenne ja toimintaperiaate hahmottuvat huomattavasti paremmin. 3D-malliin rakennettu toiminnallisuus lisää todennäköisesti mielenkiintoa mekanismia kohtaan, ja samalla voidaan vaikuttaa mekanismin toimintaan. Interaktiivisuuden ja dynaamisen mallin ansiosta mekanismien toimintaperiaatteet selventyvät katsojalle usein staattista kuvaa paremmin.

1.2 Työn tavoitteet

Visualisoitaviksi mekanismeiksi tähän työhön valittiin kolme hyvin erityyppistä tehonsiirtoon käytettävää vaihdetta, joiden mekaaniset rakenteet ovat toisaalta hyvinkin yksinkertaisia, mutta toimintaperiaatteet usein vaikeasti ymmärrettävissä. Tavoitteena onkin hyödyntää 3D-visualisointia opetuksen tukena mekanismeihin liittyvissä kursseissa tarjoamalla vaihtoehtoinen lähestymistapa mekanismien toiminnan ymmärtämiseen. Erilaisten mekanismien paljoudesta johtuen toiveena on, että myöhemmin opiskelijat kehittäisivät ja mallintaisivat uusia mekanismeja osittain tämän työn perusteella.

Työn toteutuksen tavoitteena on mallintaa vaihteista 3D-mallit Inventorilla mallintamalla vain vaihteiden keskeisimmät osat. 3D-malleista luodaan kokoonpanomalli, jossa kaikki vaihteet ovat samalla akselilla toisiinsa liitettyinä. 3D-malli vietään 3ds Maxin kautta Virtoolsiin, jossa malliin rakennetaan toiminnallisuutta ja siitä tehdään CAVEen sopiva. Lopullista mallia voidaan tarkastella CAVEssa ja vaikuttaa mallin toimintaan CAVEen liitettyllä Wand-ohjaimella. Kuvassa kaksi on CAVEssa navigointiin ja 3D-mallin kontrollointiin käytetty Wand-ohjain.



KUVA 2. Wand-ohjain.

1.3 Työn rakenne

Luvussa yksi käsitellään työn taustoja, tavoitteita ja rakennetta.

Luvussa kaksi esitellään visualisoitaviksi mekanismeiksi valittujen vaihteiden teoriaa ja esitetään tyypillisiä kirjoissa esiintyviä havainnekuvia vaihteiden toiminnasta.

Luvussa kolme esitellään työssä käytetyt ohjelmistot ja kerrotaan niiden käyttötarkoituksista.

Luvussa neljä käsitellään työn 3D-mallinnusvaihetta ja käydään pääpiirteittäin läpi jokaisen vaihteen mallinnus erikseen.

Luvussa viisi käsitellään 3D-mallien yhteensopivuutta eri ohjelmistojen välillä, sekä kuvaillaan tämän työn 3D-mallien siirtoprosessia työssä käytettyjen ohjelmistojen välillä.

Luvussa kuusi käsitellään Virtools-sovelluksen luomista virtuaalitilaan (CAVE) ja esitellään sovelluksen rakentamisprosessia alusta alkaen.

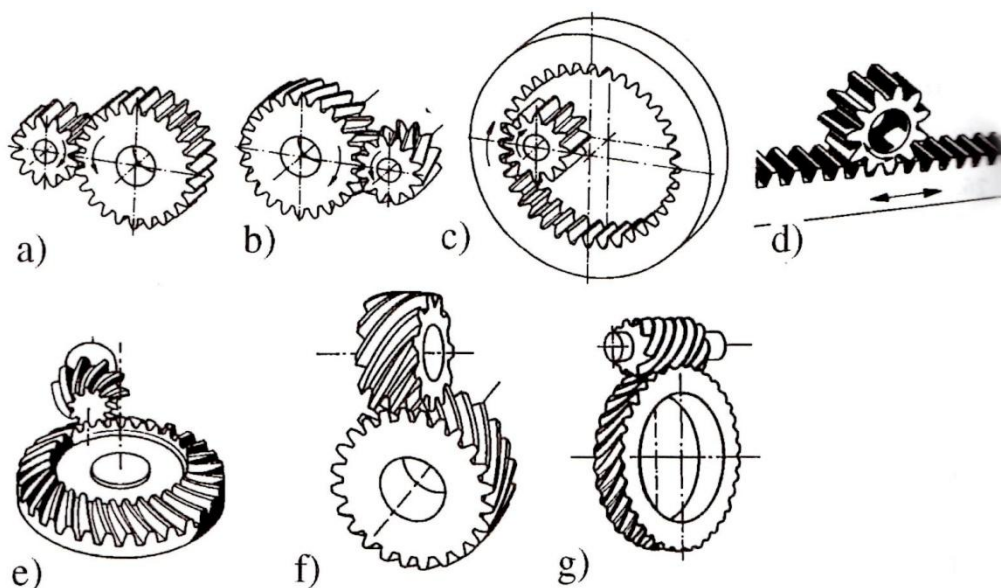
Luvussa seitsemän käydään läpi työn tulokset ja pohditaan jatkokehitysmahdollisuuksia.

Luku kahdeksan on työn yhteenveto.

2 VAIHTEET

2.1 Hammasvaihteet

Hammasvaihteissa tehonsiirtoon käytetään erityyppisiä hammaspyöriä, jotka voivat olla ulko- tai sisähammastettuja suora- tai vinohampaisia. Hammaspyörät valmistetaan lieriö- tai kartioaihioon. Kulmavaihteissa akselit ovat risteävässä asemassa toisiinsa nähden, tällöin välitys toteutetaan kartiopyöriä, ruuvipyöriä tai kierukkavälitystä käyttäen. (Airila ym. 2003, 490.) Kuvassa kolme on erityyppisiä hammasvälityksiä.

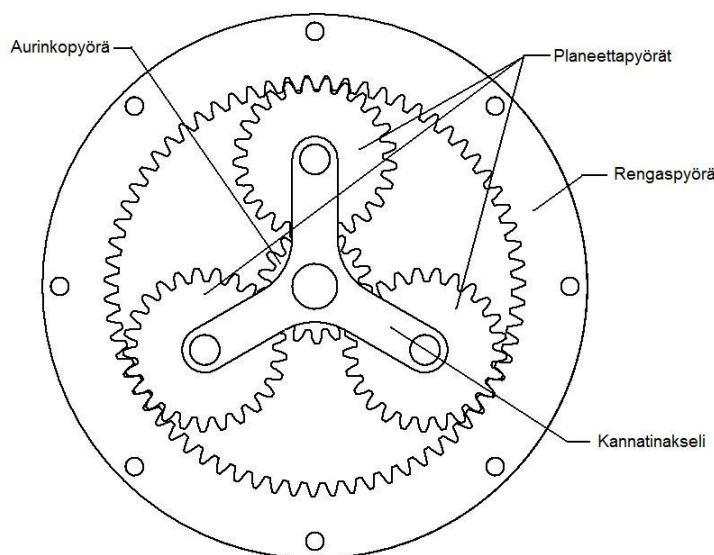


KUVA 3. Erityyppisiä hammasvälityksiä. (Airila ym. 2003, 490.)

Tähän työhön yhdeksi tarkasteltavaksi vaihteeksi valittiin kaksiportainen kartiolieriövaihte, joka on tyypillinen hammasvaihte. Sen ensimmäisen portaan akselit ovat suorassa kulmassa toisiinsa nähden ja toisen portaan akselit samansuuntaisia. Vaihdetta voidaan nimittää myös kulmavaihteeksi, miksi sitä tässä työssä nimitetään.

2.1.1 Planeettavaihte

Hammaspyöristä voidaan koota erilaisia mekanisme, joista planeettavaihdetta voidaan pitää yhtenä esimerkkinä. Planeettavaihteen keskeisimpiä osia ovat: keskus-, eli aurinkopyörä, planeettapyörät, keskus- eli rengaspyörä ja kuljetin eli kannatinakseli. (Airila ym. 2003, 751.) Kuvassa neljä on planeettavaihteen perusmuoto ja keskeisimmät osat.



KUVA 4. Planeettavaihteen rakenne.

Vaihteen normaalissa alennusvaihekäytössä rengaspyörä on kytketty koneen runkoon, aurinkopyörä on käytävä akseli ja kannatinakseli käytettävä akseli. Liikkeen välitys voi tapahtua myös kannatinakselista aurinkopyörään.

Planeettavaihteen eduksi voidaan mainita tehon jakautuminen useille akseleille, myös käytettäviä akseleita voi olla useita. Vaihteessa on suuri välityssuhde ja teho suhteessa vaihteen kokoon, sekä useita mahdollisia välityssuhteita. Vaihteen rakenne on symmetrinen ja vaihteen käytävä ja käytettävä akseli on samassa linjassa. (Airila ym. 2003, 752.)

2.2 Mekatroniikkavaihteet

Mekatroniikkavaihteita käytetään nopeutta ja tarkkuutta vaativissa järjestelmissä, lisäksi vaihteilta edellytetään hyviä dynaamisia ominaisuuksia. Jaksottaisessa kuormituksessa vaihteiden tulee olla luotettavia, mutta pitkäaikaiskestävyys kovassa kuormituksessa ei ole välttämätöntä. Tehonsiirtokyky vaihtelee kymmenestä watista muutamaan kilowattiin. Tavallisimpia mekatroniikkavaihteita ovat: harmoninen vaihde, kiertovektorivaihde ja syklovaihde. Nämä vaihteet ovat rakenteeltaan koaksiaalivaihteita, joiden ensiö- ja toisioakseli ovat samalla suoralla. (Airila ym. 2003, 758.)

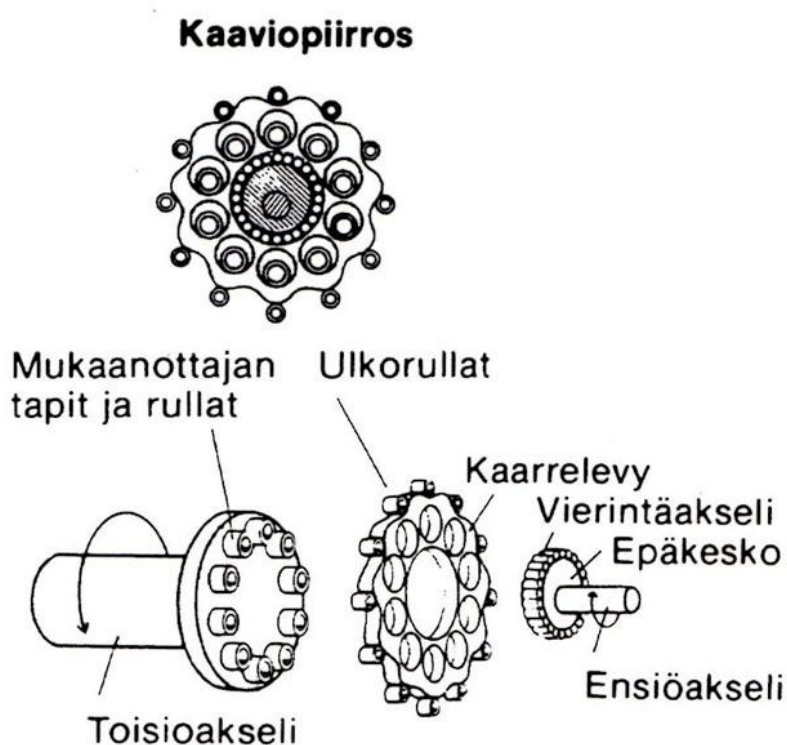
Mekatroniikkavaihteita käytetään yleisesti servojärjestelmissä, koska näihin käyvät liikkeen tahdistusvaatimuksen vuoksi ainoastaan muotosulkeiset vaihteet. Vaihteiden tulisi olla pienivälyksisiä ja jäykkiä, koska nopeat servojärjestelmät ovat alttiita värähtelylle. Tarkan säädön perusehtona on vaihteen vähäinen hystereesi. (Airila ym. 2003, 758.)

Tässä työssä käsitellään mekatroniikkavaihteista sykloidivaihdetta, joka on rakenteeltaan melko yksinkertainen, mutta samalla vaihteen toimintaa on staattisesta kuvasta hankala hahmottaa. Tarkoituksena oli käsitellä myös harmonista vaihdetta, mutta sen sisältämän joustokehän 3D-mallinnus ja visualisointi olisi ollut polygonimallinnuksena erittäin vaikeasti toteutettava.

2.2.1 Syklodivaihde

Epäkesko- eli syklodivaihde on avoin planeettavaihde, jota käytetään yleisesti alennusvaihteena. Vaihteita on olemassa yksi-, kaksi- ja kolmiportaisena. Välityssuhteet vaihtelevat yksiportaisissa välillä 6 - 119 ja kaksiportaisessa välityssuhde voi olla muutamia tuhansia. Kolmiportaisissa vaihteissa välityssuhde voi olla satoja tuhansia. (Airila 1993, 36.)

Alennusvaihde käytössä ensiöakseli pyörittää epäkeskoa, jonka ulkopinnalla oleva laakerointi siirtää liikkeen kaarrelevylle. Kaarrelevy on tuettu vaihteen pesään niin, että se liikkuu pesässä hallitusti ulkorullien ja epäkeskon ohjaamina. Vaihteen kaarrelevyssä on nokkia yksi vähemmän kuin ulkorullia. Kaarrelevyn reikiin sijoitetut laakeroidut mukaanottajantapit siirtävät liikkeen toisioakselille. Toisioakseli pyörii vastakkaiseen suuntaan kuin ensiöakseli. (Airila 1993, 37.) Kuvassa viisi on syklodivaihteen kaaviopiirros.



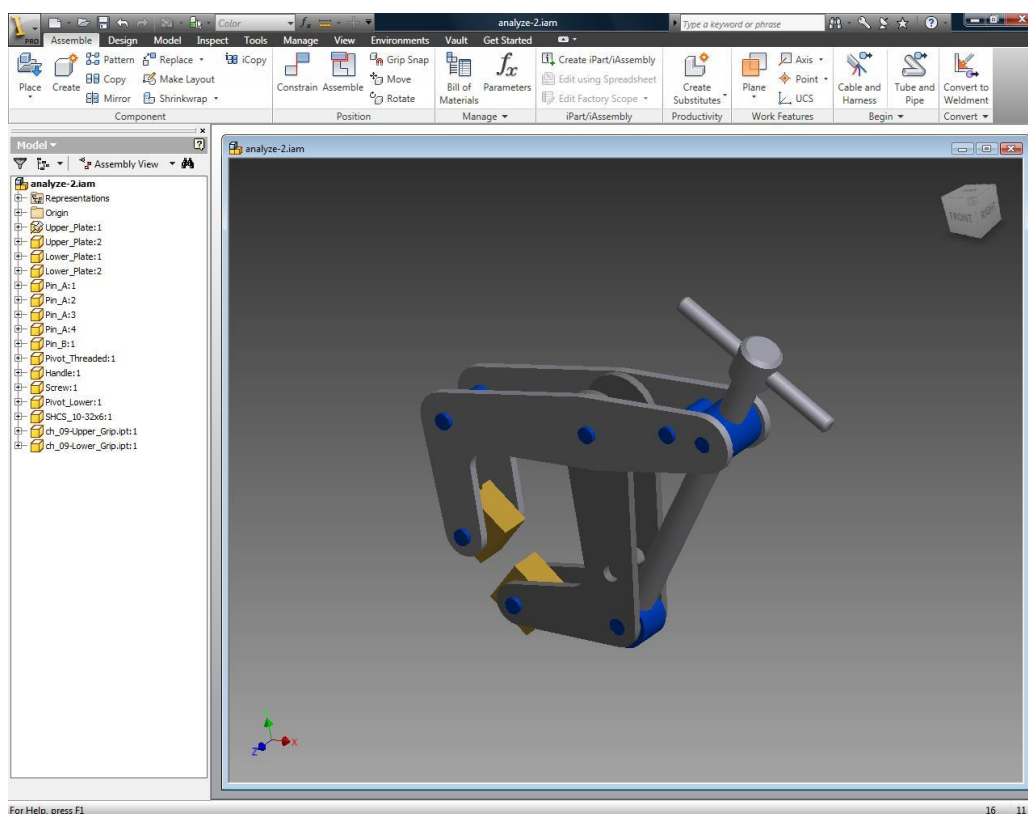
KUVA 5. Syklodivaihteen kaaviopiirros. (Airila 1993, 38.)

3 TYÖSSÄ KÄYTETTÄVIÄ OHJELMIA

3.1 Autodesk Inventor

Inventor on digitaaliseen prototyyppiin perustuva suunnitteluohjelmisto mekaniikkasuunnitteluun, 3D-mallien simulointiin, työkalu- ja muottisuunnitteluun sekä suunnittelutiedon jakamiseen. Ohjelmiston sääntöpohjaisilla reititystyökaluilla putkien, letkujen ja muiden elementtien suunnittelu tapahtuu nopeasti. (Autodesk 2010b.)

Inventor oli tähän opinnäytetyöhön hyvä ohjelmisto, koska se sisältää työkalun hammaspyörien luomiseen, joita useissa vaihteissa käytetään. Käyttöliittymä ohjelmassa on selkeä, mikä helpottaa ohjelmiston sisäistämistä ja käyttämistä. Ohjelmisto oli riittävän yhteensopiva muiden työssä käytettyjen ohjelmistojen kanssa, mikä oli tärkeää valittaessa 3D-mallinnusohjelmaa tähän työhön. Kuvassa kuusi on kokoonpanomalli Inventorissa.

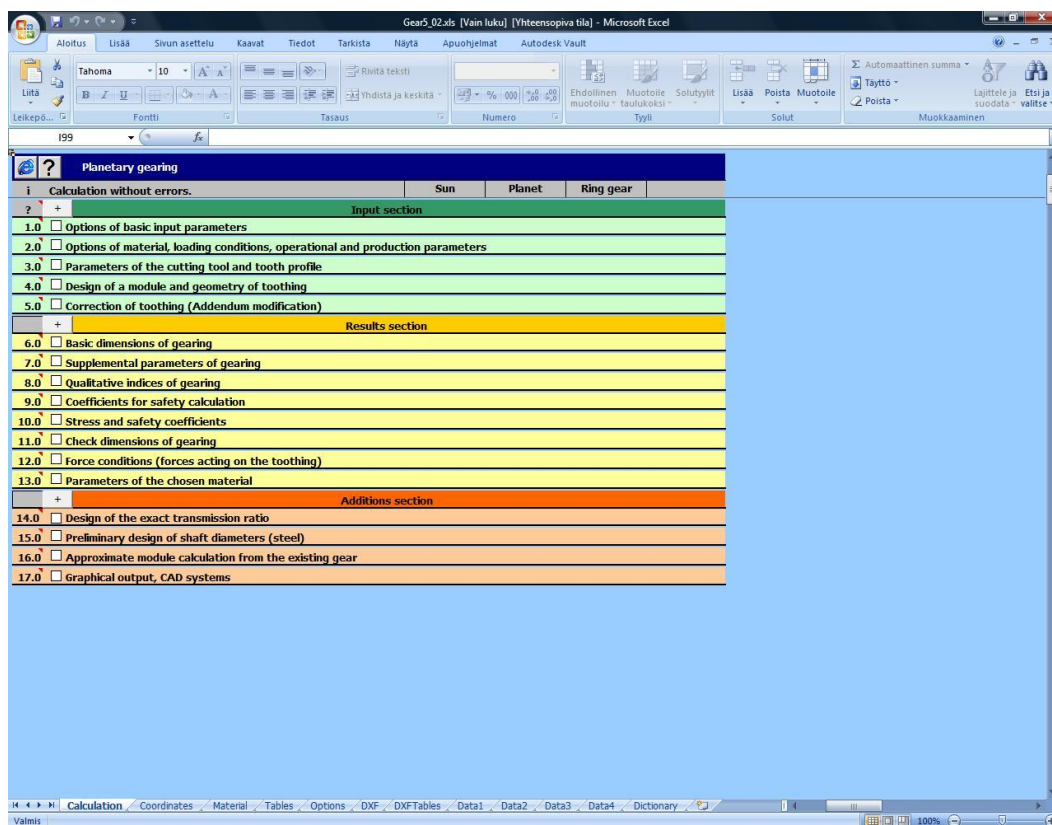


KUVA 6. 3D-malli Inventorissa.

3.2 MITCalc

MITCalc on ohjelmisto mekaanista ja teknistä laskemista varten. Se on Microsoft Excelin avulla toteutettu ohjelmisto, jossa on useita eri variaatioita mekaniikassa esiintyvien pulmien ratkaisuun. Ohjelmisto sisältää tuen useille 2D- ja 3D-suunnitteluohjelmistoille. (MITCalc, [Viitattu 10.9.2010].)

Tässä työssä käytettiin MITCalc-ohjelmistosta vain planeettavaihteen suunnitteluun tarkoitettua osaa, jonka sai erillisenä pakettina käyttöönsä 30 päivän ajaksi ilmaisena kokeiluversiona. Kuvassa seitsemän on MITCalcin käyttöliittymä.

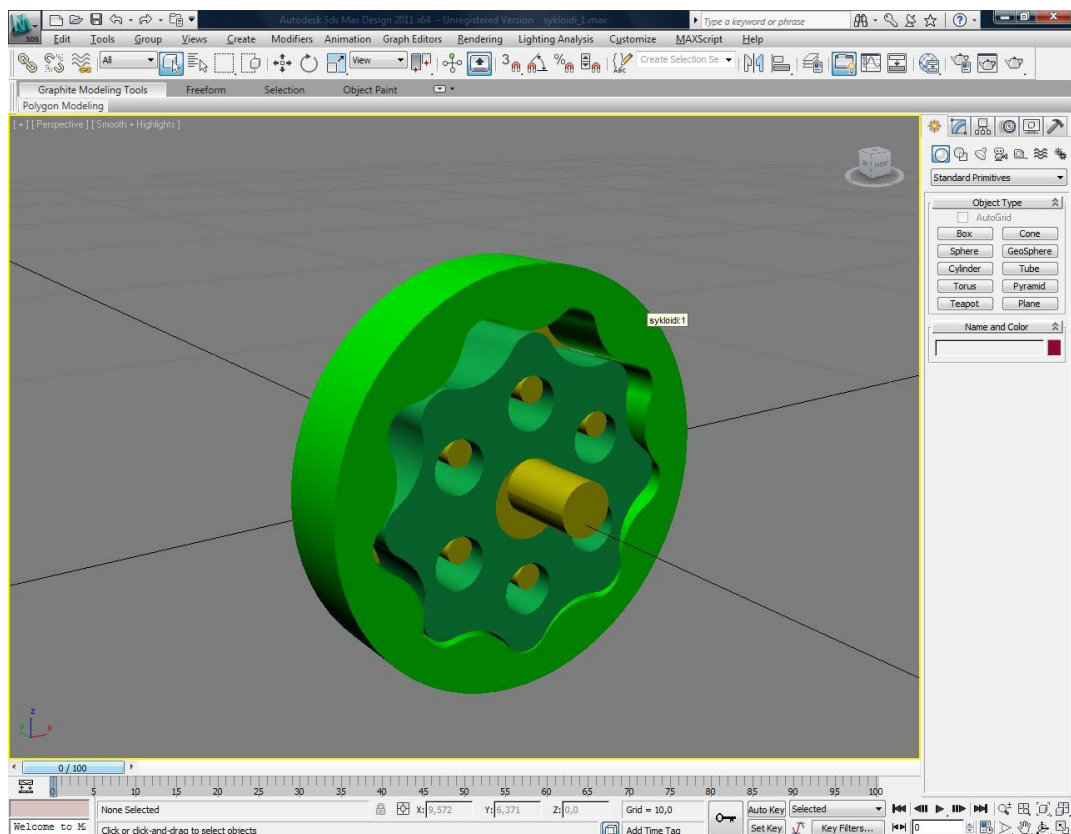


KUVA 7. MITCalc-ohjelmiston käyttöliittymä.

3.3 Autodesk 3ds Max

3ds Max on ohjelmisto pelinkehittäjille, graafisille suunnittelijoille, arkkitehdeille ja visualisoinnin ammattilaisille. Ohjelmisto sisältää työkalut 3D-mallinnukseen, animaation luomiseen, renderöintiin, dynamiikan ja efektien luomiseen sekä moniin muihin 3D-mallinnuksessa käytettäviin toimintoihin. Ohjelmissa on laaja yhteensopivuus muihin 3D-mallinnuksessa käytettäviin ohjelmistoihin. (Autodesk 2010a.)

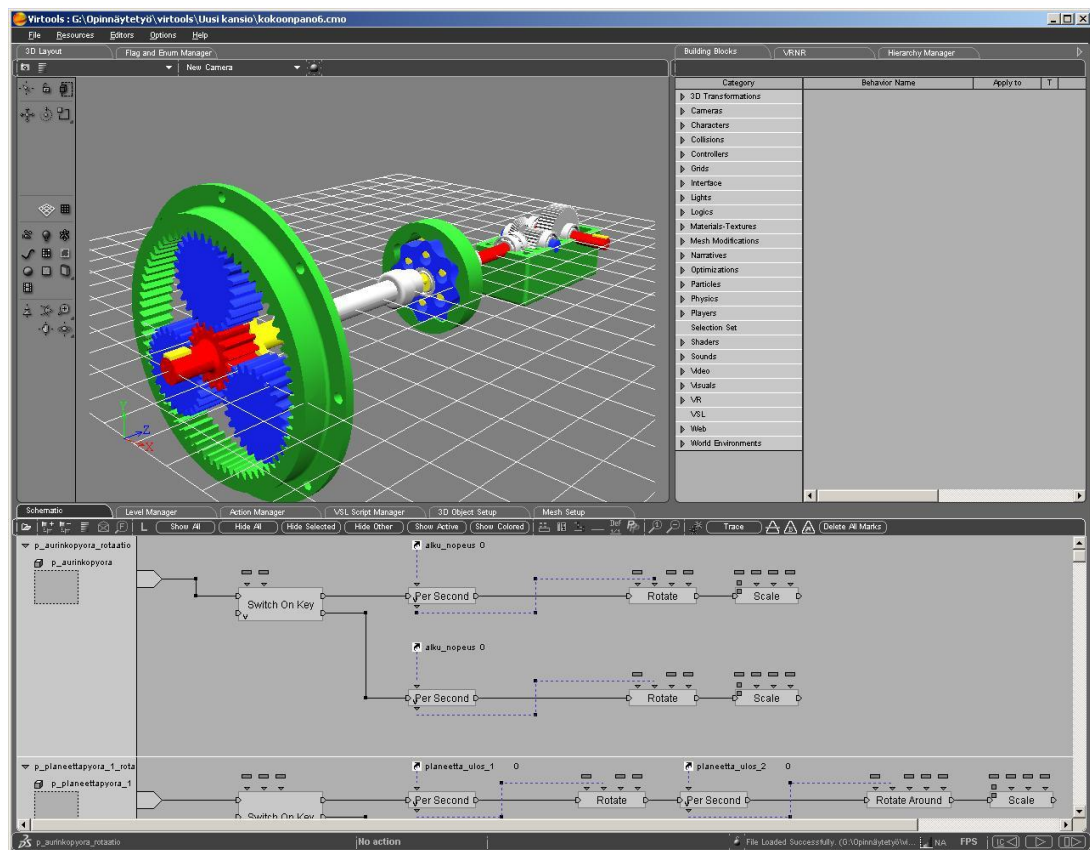
Ohjelmistoa käytettiin tässä työssä enimmäkseen konvertointityökaluna Inventorin ja Virtoolsin välillä. 3D-mallien viimeistelyt ja tarvittavat hienosäädöt tehtiin tällä ohjelmalla. Kuvassa kahdeksan on 3ds Maxin käyttöliittymä.



KUVA 8. Autodesk 3ds Maxin käyttöliittymä.

3.4 Virtools

Virtools on ohjelma interaktiivisen 3D-sisällön tuottamiseen. Ohjelmalla ei voida mallintaa 3D-malleja, vaan ne on tehtävä muilla ohjelmilla. Ohjelmaan voidaan tuoda 3D-malleja eri tiedostomuodossa: Virtools objekti -tiedosto (.nmo), 3D XML (.3dxml), DirectX (.x), 3D Studio (.3ds) ja VRML (Virtual Reality Modelling Language). Toiminnallisuutta 3D-malleihin voidaan luoda vuokaavio-ohjelmoinnilla, Virtoolsin skriptikielellä (VSL) tai ohjelmistokehityspaketilla (SDK). VRPN-tuen avulla voidaan käyttää erilaisia ohjain- ja paikannuslaitteita. Kuvassa yhdeksän on Virtoolsin käyttöliittymä.



KUVA 9. Virtoolsin käyttöliittymä.

3.5 Autodesk Showcase

Autodesk Showcase on 3D-visualisointiin erikoistunut ohjelmisto. 3D-mallia voidaan elävöittää kuvakäsikirjoitustyökaluilla, keyframe-animaatioilla, toimintaan reagoivilla käynnistimillä, poikkileikkaustyökaluilla, valaistustehosteilla, helppokäyttöisillä kamera- ja objektianimaatioilla, fotorealistisilla materiaaleilla ja useilla muilla menetelmillä. (Autodesk 2011.)

Showcase-ohjelmisto lukee Autodesk Inventorin tiedostoja, CATIA V4/V5 -tiedostoja sekä Autodesk FBX -tiedostomuodon tuen vuoksi ohjelmaan on mahdollista tuoda Autodesk 3ds Max- ja Autodesk Maya -ohjelmistojen kamera-animaatioita. 3D-esityksistä on mahdollista tehdä videotiedostoja tai renderöidä esityksistä interaktiivisia Flash-tiedostoja. (Autodesk 2011.)

Ohjelman Professional-versio tukee usean näytön kokonaisuuksia, nopeita säätöjen jäljitysklustereita, stereoskopiaa ja etäistuntojen jakamista hyödyntäviä ympäristöjä. Ohjelmisto tukee myös X-Rite MA 98 -laitetta, jolla on mahdollista skannata maalinäytteet ja määritellä geometrialle tarkat materiaalit Showcasen intuitiivisessa käyttöliittymässä. (Autodesk 2011.)

Tässä työssä kokeiltiin Autodesk Showcasea, mutta sen sisältämät työkalut ja ominaisuudet eivät riittäneet tämän työn toteutukseen halutulla tavalla. Käytössä oli Autodesk Showcase 2011, jossa ei tule mukana usean näytön tukea, mikä oli vaikuttava tekijä ohjelman valintaan. Ominaisuus olisi ollut ohjelmiston Professional-versiossa.

4 3D-MALLINNUS

4.1 3D-mallinnus suunnittelussa

3D-mallintaminen suunnittelutapana on viime vuosien aikana yleistynyt merkittävästi ja tulevaisuudessa yritykset käyttävät yhä enemmän 3D-mallintamista suunnittelussa, koska se on huomattavasti tehokkaampaa kuin 2D-suunnittelu. Uusien tuotteiden ja prototyyppien suunnittelu 3D-mallintamisen avulla säästää huomattavasti kustannuksia pitkällä aikavälillä. 3D-mallinnusta käytetään tuotekuvien tekemiseen, osien yhteensovittamiseen, rakenteen toimivuuden varmistamiseen ja lujuustarkastelumallien luomiseen ja lujuusanalyysiin. (Tuhola & Viitanen 2008, 13.)

3D-mallinnus tapahtuu aina tiettyä reittiä pitkin, joka voidaan jakaa kolmeen vaiheeseen: lähtötiedot, esivalmistelu ja mallinnus. Lähtötietoina voi olla idea, valmis luonnos, valmis tuote tai toimeksianto. Esivalmisteluvaiheessa järjestelmään syötetään tarvittavat määrittelyt ja mahdolliset asiakkaan pohjat. Mallinnusvaiheessa tehdään karkea luonnos eli sketsi, josta luodaan 3D-osamalli ja näistä osamalleista tehdään lopullinen kokoonpano. Viimeisenä kokoonpanosta ja osamalleista tuotetaan tarvittavat 2D-piirustukset osaluetteloihin ja tuotetietoihin. (Tuhola & Viitanen 2008, 19.)

Tässä työssä pyrittiin mallintamaan mahdollisimman selkeät ja yksinkertaistetut 3D-mallit jokaisesta valitusta vaihteesta. Vaihteiden 3D-mallinnuksessa käytettiin muutamia erityyppisiä menetelmiä, joiden avulla tuotiin esille erilaisia lähestymistapoja 3D-mallien luomiseen. Syklodivaihte mallinnettiin käyttämällä enimmäkseen luonnostelua, planeettavaihte mallinnettiin enimmäkseen MITCalc-ohjelmalla luotujen 2D-kuvien perusteella ja kulmavaihte mallinnettiin käyttämällä hyväksi Inventorin parametrisia suunnittelutyökaluja.

4.2 Planeettavaihteen 3D-mallinnus

Planeettavaihteeseen mallinnettiin kannatinakseli, aurinko- ja rengaspyörä, sekä kolme identtistä planeettapyörää. Aurinkopyörään mallinnettiin ensiöakseli, joka on vaihteen käyttävä akseli. Kannatinakseliin mallinnettiin toisioakseli, joka on vaihteen käytettävä akseli. Apuna hammaspyörien suunnitteluun käytettiin MITCalc-ohjelmistoa, jonka avulla luotiin 2D-geometriat jokaisesta hammaspyörästä. Vaihteen mallinnus aloitettiin hammaspyörien suunnittelulla, jonka jälkeen hammaspyörien ympärille mallinnettiin muut vaihteen osat ja lopuksi koottiin osamalleista lopullinen kokoonpano.

4.2.1 Osamallinnus

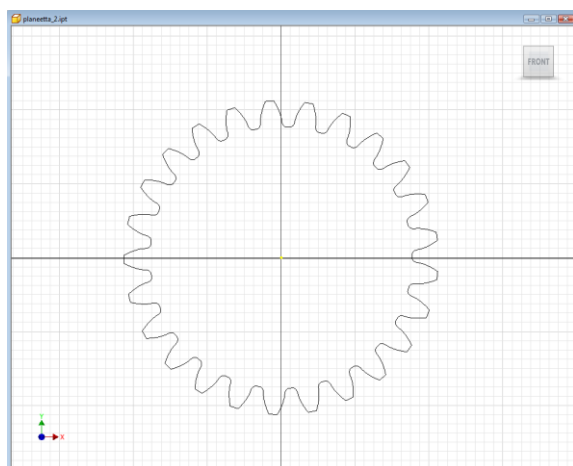
MITCalc-ohjelmisto sisältää suuren joukon erilaisia toimintoja, joiden avulla vaihteesta voidaan suunnitella käyttötarkoitusta vastaava. Ohjelmasta voidaan viedä useita eri tiedostomuotoja eri ohjelmistoille, tämän työn tarkoitukseen sopivin tiedostomuoto oli Inventorin tukema dxf-tiedostomuoto.

Suunnitteluvaiheessa ohjelman oletusarvoja ei juurikaan muutettu, niiden ollessa valmiiksi sopivat tämän työn tarkoitukseen. Ainoat muutokset ohjelmassa tehtiin vientiasetuksiin, näin ohjelmasta saatiin dxf-tiedostot jokaisesta hammaspyörästä erikseen. Kuvassa 10 on MITCalc-ohjelmiston vientivalikko, josta määritellään 2D-tiedostojen ominaisuudet.

17.0 Graphical output, CAD systems	
17.1 2D drawing output to:	DXF File
17.2 2D Drawing scale	Automatic
17.3 Detail:	Sun
17.4 Detailed drawing of tooth and wheel	
17.5 Number of drawn teeth	300
17.6 Number of points of tooth tip	5
17.7 Number of points of tooth flank	30
17.8 Rolling (turning) of a tool between the bite	0,50 [°]
17.9 Number of tooth copies in the picture of engagement check	12
17.10 Turning of pinion during engagement check	0,50 [°]
17.11 Gear angle	148,235 [°]
β [°]... 30,00 a [modul]... 1,00	
<input checked="" type="checkbox"/> Drawing without axes	
0 180/z ∧ V	

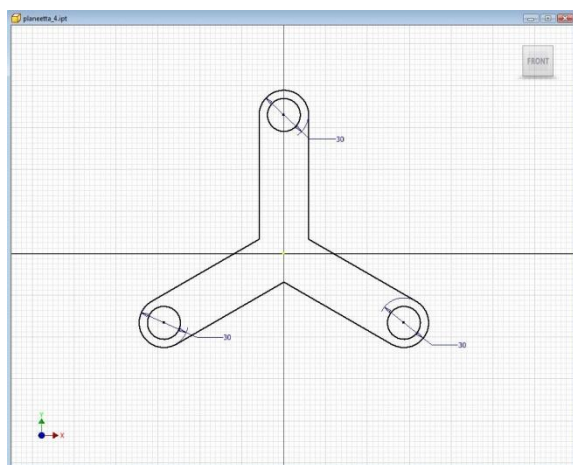
KUVA 10. MITCalc-ohjelmiston vientivalikko.

Valmiit dxf-tiedostot tuotiin ACAD-työkalulla Sketch-tilaan, joka on Inventorin luonnostelutila. Seuraavaksi hammaspyörrien sketsit pursotettiin Extrude-komennolla haluttuun mittaan. Nämä toiminnot toistettiin jokaiselle vaihteen hammaspyörälle ja samalla aurinkopyörään pursotettiin ensiöakseli. Rengaspyörään mallinnettiin laippa kiinnitystä varten. Kuvassa 11 on dxf-tiedosto tuotuna Inventorin Sketch-tilaan.



KUVA 11. Planeettapyörän geometria Sketch-tilassa.

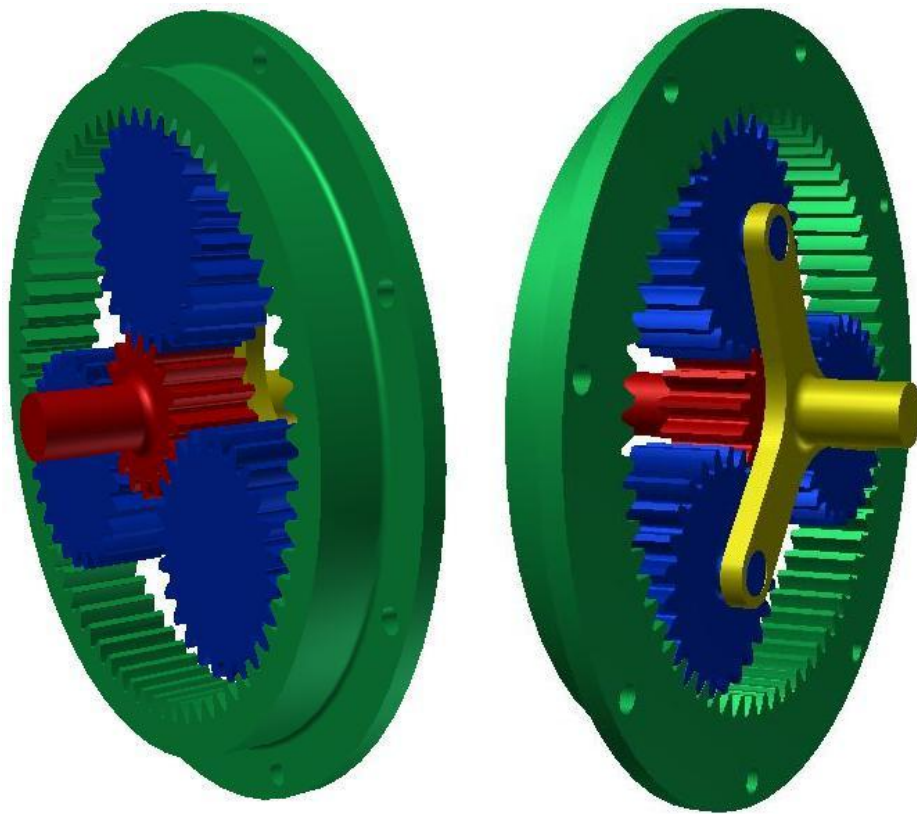
Kannatinakseli mallinnettiin MITCalc-ohjelmasta tuodun referenssitiedoston avulla. Tiedosto on yksinkertaistettu 2D-piirros planeettavaihteesta, josta saatiin jokaisen hammaspyörän keskipisteet suhteessa toisiinsa. Tämän perusteella mallinnettiin kannatinakseli, joka käsittää myös toisioakselin. Kuvassa 12 on kannatinakselin luonnos.



KUVA 12. Kannatinakselin luonnos.

4.2.2 Kokoonpanomalli

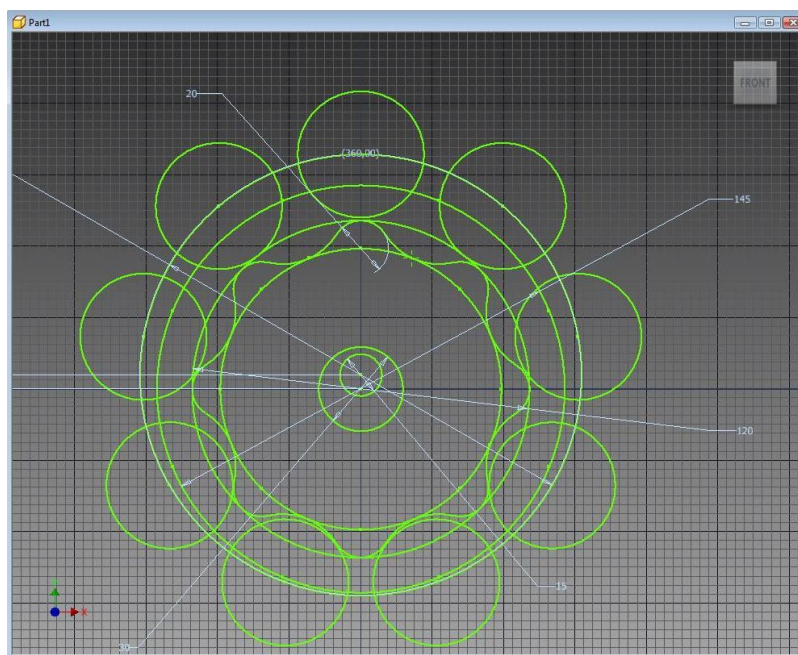
Planeettavaihteen kokoonpanomalli koottiin erillisistä osamalleista: aurinkopyörä, planeettapyörät, rengaspyörä ja kannatinakseli. Osamallit tuotiin erikseen Inventorin kokoonpanotilaan, jossa osat sijoitettiin oikeille paikoille Constraint-työkalulla. Kokoonpanot luotiin Inventorissa iam-tiedostomuotoon, joka ei itsessään sisällä osamalleja, tästä syystä osamallien täytyy kulkea kokoonpanotiedoston mukana sitä käytettäessä. Kuvassa 13 on planeettavaihteen valmis kokoonpano.



KUVA 13. Planeettavaihteen kokoonpano.

4.3 Syklodivaihteen 3D-mallinnus

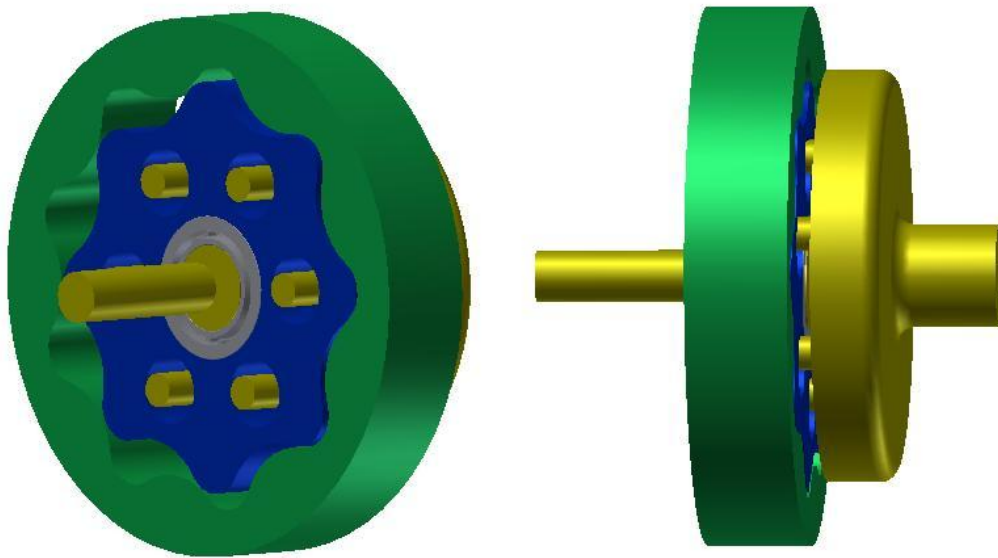
Syklodivaihteen mallinnus aloitettiin Inventorin Sketch-tilassa, jossa kaarrelevyn, ulkokehän, epäkeskon ja ensiöakselin geometriat piirrettiin. Piirtämisessä tuli huomioida vaihteen toiminta, koska kaarrelevyn nokkien tulee liukua tasaisesti ulkorullia vasten jokaisessa vaihteen positiossa. Vaihteeseen mallinnettiin ulkorullia vastaava ulkokehä, joka on yhtenäinen kappale, mutta toiminnaltaan yksittäisiä ulkorullia vastaava. Luonnostelun jälkeen sketsistä pursotettiin 3d-mallit, jokaisesta osasta erikseen, ja osat tallennettiin omiksi osamalleiksi. Kuvassa 14 on syklodivaihteen kaarrelevy ja ulkokehä luonnosteluvaiheessa Inventorin Sketch-tilassa.



KUVA 14. Syklodivaihteen kaarrelevy ja ulkokehä luonnosteluvaiheessa.

Kaarrelevyyn mallinnettiin mukaanottajaa varten kuusi reikää, joissa mukaanottajan tapit liukuvat. Mukaanottajan mallinnuksessa osaan mallinnettiin kaarrelevyn reikiin menevät kuusi tappia ja osan toiselle puolelle pursotettiin toisioakseli.

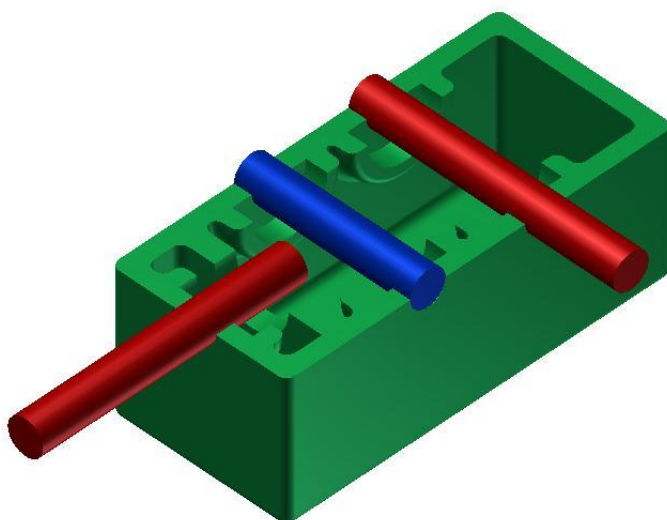
Kokoonpanomalliin tuotiin kaikki osamallit, jotka sijoitettiin oikeille paikoille Constraint-työkalun avulla. Epäkeskon ja kaarrelevyn väliseen tilaan mallinnettiin laakeri Inventorin Design Accelerator -työkalulla, millä laakeriksi valittiin tässä yhteydessä usein käytetty neulalaakeri. Kuvassa 15 on sykloidivaihteen valmis kokoonpanomalli.



KUVA 15. Sykloidivaihteen valmiskokoonpano.

4.4 Kulmavaihteen 3D-mallinnus

Kulmavaihteen mallinnus aloitettiin mallintamalla vaihteen kotelo ja siihen tilat laakeroiduille akseleille. Kotelo mallinnettiin luonnostelemalla pohjan muoto ja pursottamalla se oikeaan korkeuteen. Kotelon sisusta tehtiin Shell-työkalulla, joka mahdollistaa umpinaisen kappaleen ontoksi tekemisen. Koteloon mallinnettiin laakeripesät myöhemmin sijoitettavia laakereita varten. Kotelon pyöristykset tehtiin Fillet-työkalulla, joka mahdollistaa erilaisten kappaleiden kulmien muokkaamisen. Kuvassa 16 on kulmavaihteen kotelo ja akselit.

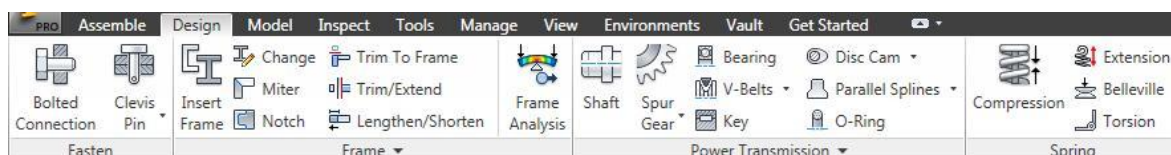


KUVA 16. Kulmavaihteen kotelo ja akselit.

Kulmavaihteen osat mallinnettiin ilman erityistä mitoittamista, koska tiedettiin että laakerointi ja hammaspyörien mallinnus onnistuu Inventorin parametrisillä suunnittelutyökaluilla lähes mihin mittoihin tahansa.

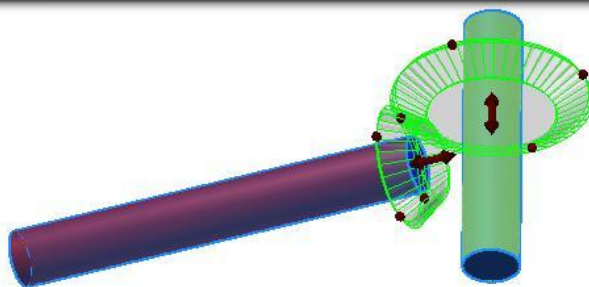
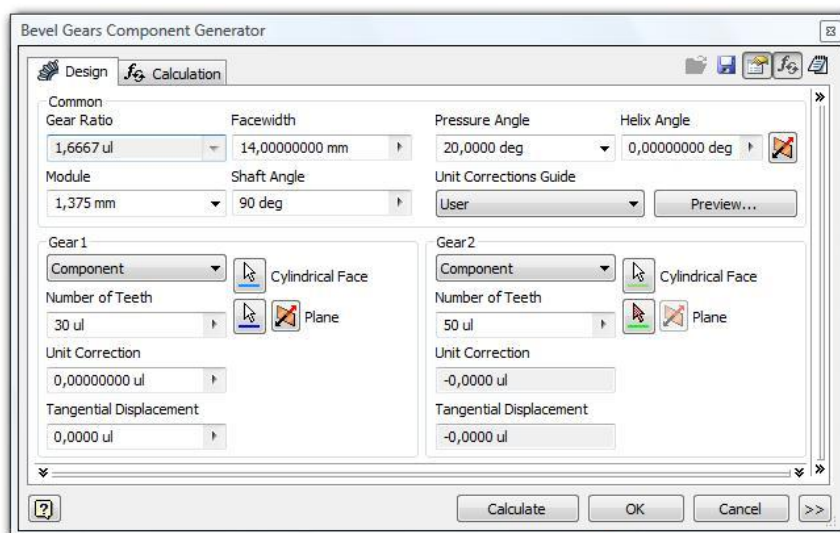
4.4.1 Parametriset hammaspyörät ja laakerit

Inventorin Design Accelerator -työkaluilla on mahdollista luoda erilaisia standardin mukaisia komponentteja ja laskea niihin liittyviä ominaisuuksia. Työkalun avulla voidaan huomattavasti helpottaa ja automatisoida tiettyjen komponenttien mallintamista. Työkalua voidaan käyttää Inventorin kokoonpano-tilassa, jossa kokoonpanomallit luodaan. Kuvassa 17 on Design Accelerator -työkaluvalikot Inventoris-
sa.



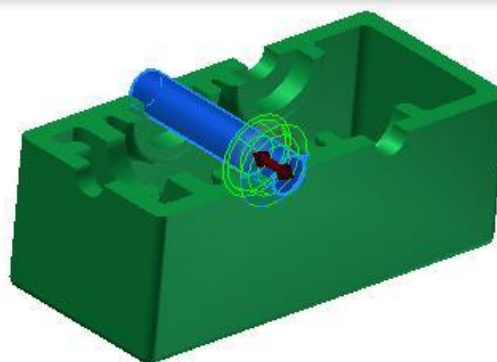
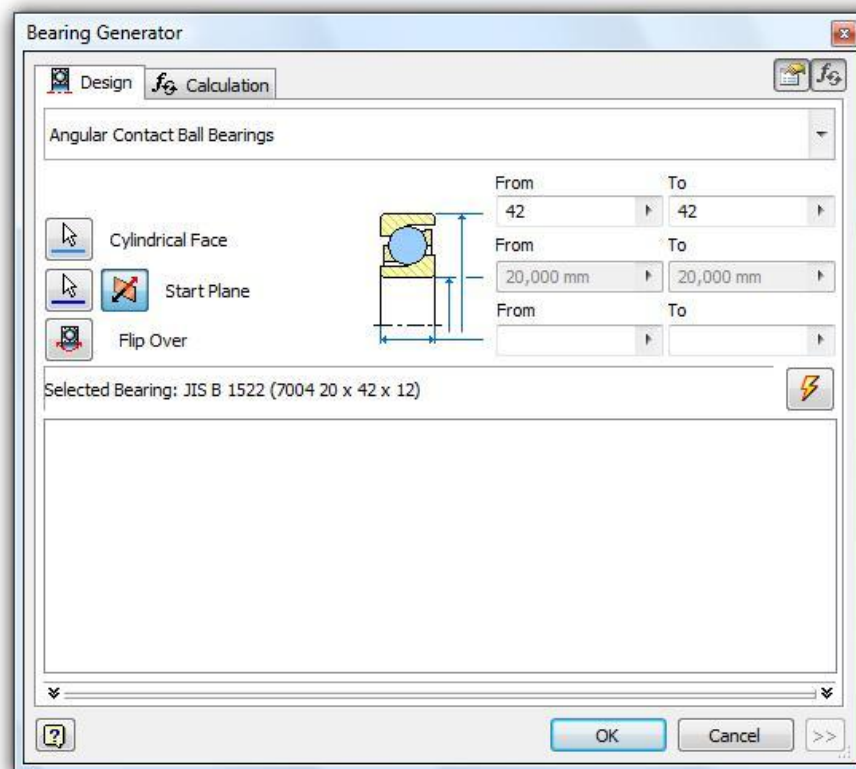
KUVA 17. Design Accelerator -valikot.

Kulmavaihteen hammaspyöräparit mallinnettiin Design Accelerator -työkaluihin kuuluvalla Spur Gear -työkalulla. Kuvassa 18 on ensimmäisen tason hammaspyöräparin mitoitus ja valmiin hammaspyöräparin asetukset.



KUVA 18. Hammaspyöräparin mallinnus Design Accelerator -työkalulla.

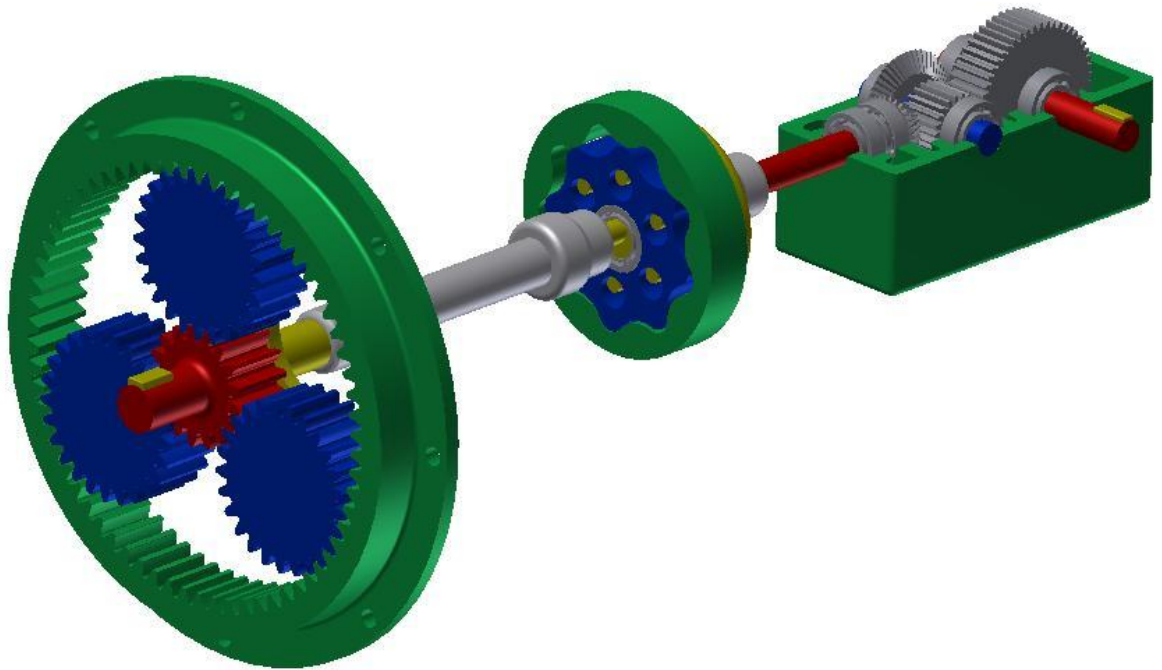
Laakeroinnin mallintamisessa käytettiin Design Accelerator -työkaluihin kuuluvaa Bearing Generator -työkalua. Bearing Generator -työkalulla voidaan hakea Inventorin kirjastoista sopivia laakereita rajaamalla hakua esimerkiksi mittojen perusteella. Lujuusteknistä tarkastelua voidaan suorittaa työkalun Calculations-välilehdessä. Kuvassa 19 on laakeroinnin suunnittelu ja mitoitus Bearing Generator -työkalulla.



KUVA 19. Laakeroinnin suunnittelu Bearing Generator -työkalulla.

4.5 Lopullinen kokoonpanomalli

Lopullinen vaihdekokoonpanomalli koottiin tuomalla jokaisen vaihteen kokoonpanomalli Inventorin kokoonpanotilaan ja liittämällä vaihteet akseleineen toisiinsa Constraint-työkalulla. Kuvassa 20 on valmis vaihdekokoonpano.



KUVA 20. Lopullinen vaihdekokoonpano.

5 3D-MALLIN VIENTI VIRTOOLS-OHJELMAAN

5.1 3D-mallinnusohjelmien tiedostoformaattien yhteensopivuus

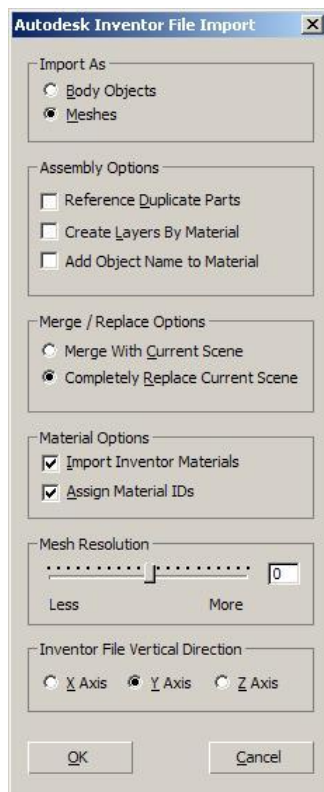
Nykyään on saatavilla erilaisia työkaluja 3D-mallintamiseen useilta eri valmistajilta. Yleensä eri ohjelmilla on omat tiedostoformaattinsa, jotka eivät välttämättä toimi suoraan toisissa ohjelmissa. Eri ohjelmat tosin sisältävät erilaisia tuonti- ja vientityökaluja, joilla 3D-mallit saadaan konvertoitua toisiin ohjelmiin sopiviksi. Markkinoilla on myös muutama erillinen ohjelma tiedostoformaattien konvertoimiseen.

3D-mallien siirto eri ohjelmien välillä saattaa usein aiheuttaa erilaisia muutoksia siirrettävään malliin. 3D-mallista voi esimerkiksi kadota polygoneja, pintojen materiaalit tai tekstuurit eivät näy 3D-mallissa, mittakaava voi olla eri suhteessa alkuperäiseen 3D-malliin. Edellä mainituista syistä johtuen 3D-malliin joudutaan tekemään usein korjauksia ohjelmassa johon se on tuotu.

Tässä työssä 3D-malli vietiin Virtoolsiin 3ds Maxin kautta 3ds-tiedostoformaattissa. Alun perin tarkoitus oli käyttää 3ds Maxiin lisäosana asennettavaa vientityökalua (Nmotion tai Tavae), mutta kumpikaan näistä ei toiminut uusimmassa versiossa halutulla tavalla. Nmotion ei vienyt materiaaleja Virtoolsiin ja Tavaen vientityökalu ei asennusvaiheessa tunnistanut käytössä olevaa versiota 3ds Maxista. Näiden vientityökalujen avulla 3D-mallin olisi voinut siirtää Virtoolsiin sen natiivissa tiedostoformaattissa.

5.2 Inventor-kokoonpanomallin valmistelu Virtools-ohjelmaan

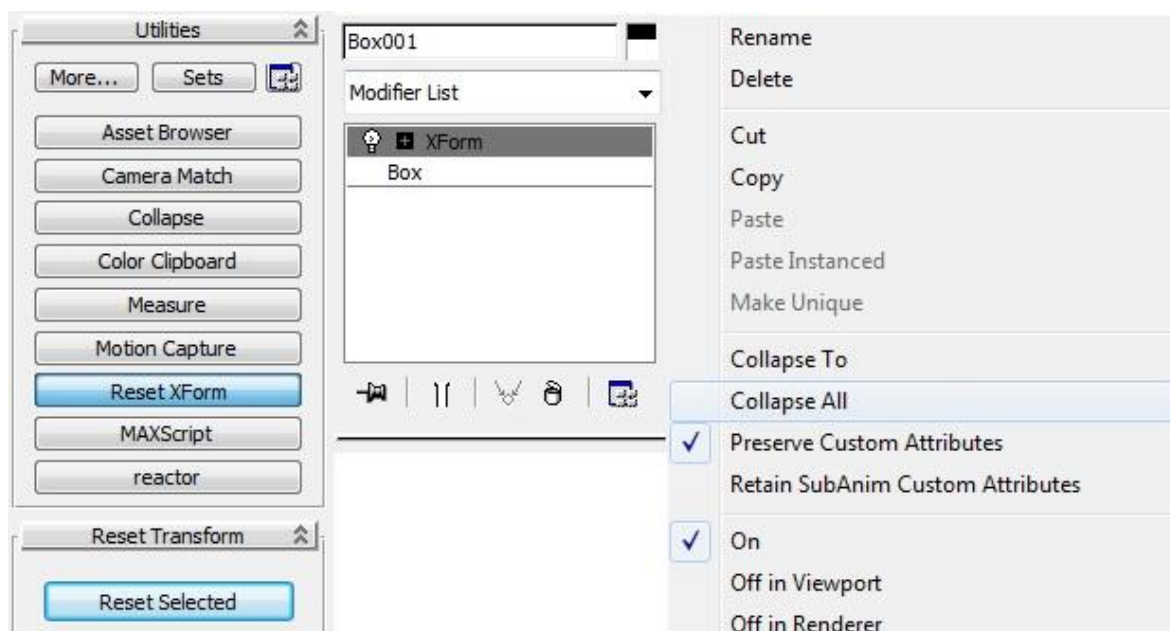
Inventorilla luotu 3D-malli tuotiin 3ds Maxiin sen omalla tuontityökalulla, joka ohjelmistoversiossa 2011 tukee myös Inventorin kokoonpanomalleja. Tuontityökalun asetuksissa voidaan määrittää muutamia ominaisuuksia tuotavan mallin materiaaleista ja tarkkuudesta. Kuvassa 21 on Inventor-kokoonpanomallin tuontiasetukset, joilla saadaan tuotua myös Inventorissa 3D-malleihin asetetut materiaalit ja niille määritetyt värit.



KUVA 21. Inventor-kokoonpanomallin tuontiasetukset.

Tuonnin jälkeen 3D-mallin kokoa suurennettiin Scale-työkalulla, jolla objekteja voidaan skaalata yksittäisten tai useamman akselin suhteen. Kokoa skaalattiin alkuperäisestä viisinkertaiseksi, koska alkuperäisessä koossa se olisi Virtoolsiin ja edelleen CAVEen liian pienikokoinen.

Kulmavaihteen 3D-mallin ensimmäisen portaan hammaspyöräparin polygonit olivat tuontiprosessin aikana kääntyneet väärinpäin. Tämä ongelma ratkaistiin teemmällä 3D-mallin jokaiselle objektille Reset Xform -toiminto, jonka avulla on mahdollista kääntää objektien pivot-pisteiden koordinaatistot samansuuntaisiksi maailma-koordinaatiston suhteen. Tämän jälkeen hammaspyöräparin polygonit käännettiin Flip-toiminnolla. Kuvassa 22 on Reset Xform -toiminto.



KUVA 22. Reset Xform -toiminto.

Kuten kuvassa 22 huomataan Reset Xform -toiminto lisää objekteihin tehdyt muutokset Modifier-pinoon. Muutokset saadaan siirtymään objektien rakenteeseen käyttämällä Collapse All -toimintoa.

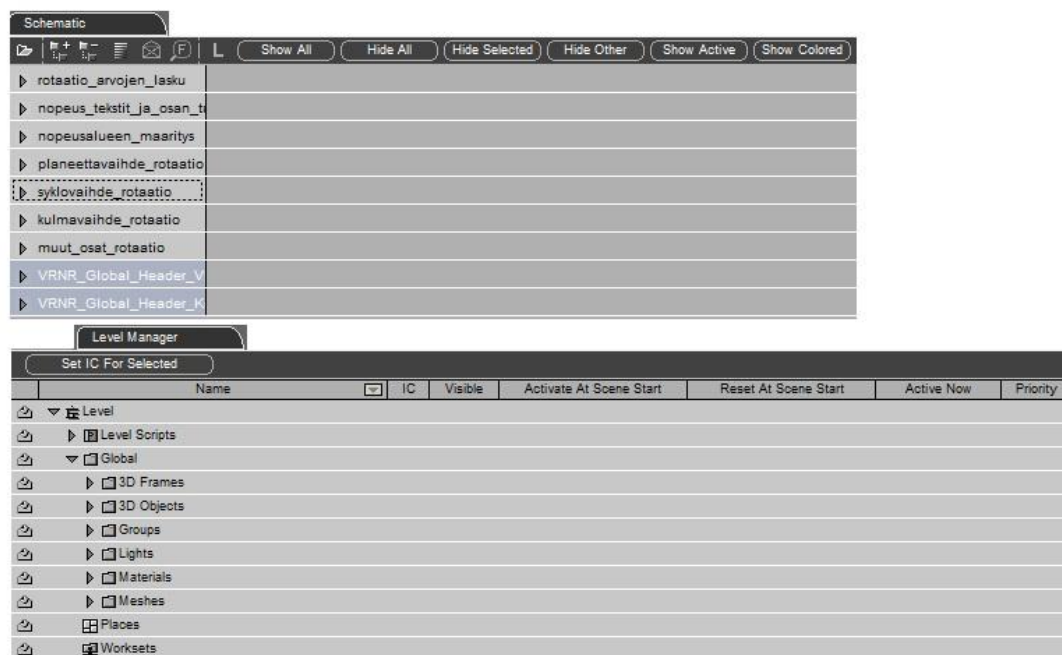
Lopuksi 3D-malli tallennetaan 3ds-muotoon ohjelman Export-toiminnolla, jolla on mahdollista tallentaa 3D-malleja useisiin eri tiedostomuotoihin. 3ds-tiedostomuodon yksi rajoitus on yksittäisen objektin polygonimäärän rajoitus 65536 polygoniin, mutta tämän 3D-mallin yksittäisissä objekteissa ei ollut tätä rajoitusta ylittävää määrää polygoneja.

6 CAVE-SOVELLUKSEN LUONTI VIRTOOLSILLA

6.1 Alkutoimenpiteet

Rakennettaessa Virtools-sovellusta CAVEen, sovellusta voidaan rakentaa normaalissa PC-ympäristössä tai suoraan CAVEssa. Suositeltavaa on kuitenkin aloittaa sovelluksen teko normaalissa PC-ympäristössä, koska tällöin etenkin sovelluksen testaus on tehokkaampaa. Sovellus kannattaakin tehdä mahdollisimman valmiiksi normaalissa PC-ympäristössä ja testata sen toimintaa riittävästi. Siirrettäessä sovellus CAVEen siihen tehdään tiettyjä muutoksia, joiden takia CAVE-versiota ei enää kannata työstää normaalissa PC-ympäristössä. Lopullisen sovelluksen rakennus ja testaus tehdään CAVEssa.

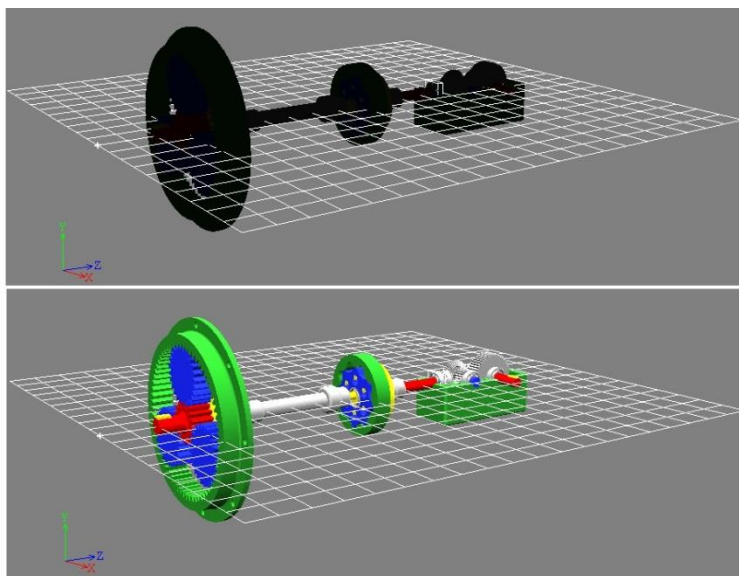
Tässä työssä Virtools-sovellus koostuu siihen tuodusta 3D-mallista ja ohjelmassa luoduista skripteistä, eli vuokaavio-ohjelmista. Skriptejä tarkastellaan ja editoidaan Virtoolsin Schematic-tilassa, jossa on nähtävillä koko sovelluksen skriptit. Level Manager -tilassa voidaan tarkastella ja luoda uutta sisältöä Virtools-sovellukseen. Kuvassa 23 on Virtoolsin Schematic- ja Level manager -tilat.



KUVA 23. Virtoolsin Schematic- ja Level Manager -tilat.

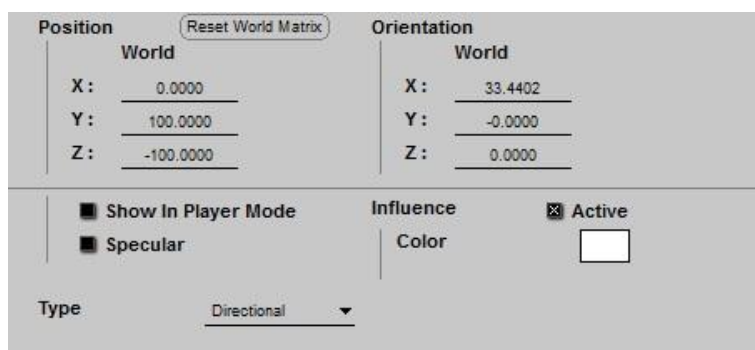
6.1.1 Valaistus

Virtoolsissa ei ole oletuksena valaistusta tuoduille 3D-malleille, joten ne näkyivät mustina tuonnin jälkeen. Valaistus rakennettiin käyttämällä ohjelman Create Light -työkalua, jonka avulla on mahdollista luoda erilaisia valaistustehosteita. Mallissa käytettiin suuntavaloja, joita sijoiteltiin neljä kappaletta 3D-mallin ympärille tuottamaan valaistusta. Kuvassa 24 on Virtoolsiin tuotu 3D-malli ilman valaistusta ja valaistuksen luonnin jälkeen.



KUVA 24. 3D-mallin valaistus.

Valaistuksen asetuksia voidaan muokata Level Manager -tilasta, jossa valaistus-objektit ovat listattuna Lights-valikon alla. Kuvassa 25 on yhden tässä sovelluksessa käytetyn suuntavalon asetukset.



KUVA 25. Yhden suuntavalon asetukset.

6.1.2 Initial Conditions -tilan asettaminen

3D-mallin tuonnin jälkeen sen jokaiselle objektille asetettiin Initial Conditions -tilat, jotka voidaan määrittää ohjelman Level Manager -tilasta. Initial Conditions -tilojen asettaminen mahdollistaa sovelluksen osien palauttamisen siihen tilaan, mihin Initial Conditions on asetettu. Initial Conditions -tilat on hyvä asettaa ainakin 3D-mallin jokaiselle objektille, ellei sille ole mitään ohjelmallista estettä. Tällöin 3D-malli voidaan palauttaa alkuperäiseen tilaansa, jos sitä tai jotakin sen osaa on sovelluksen ajon tai editointivaiheen aikana liikuteltu. Initial Conditions -tiloja on mahdollista asettaa myös sovelluksen skripteille ja useille muille kohteille Virtool-sissa.

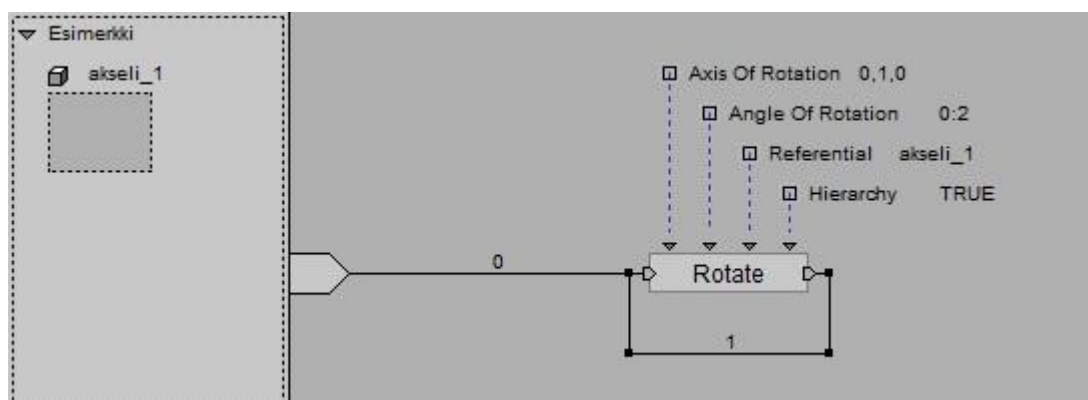
6.1.3 Ryhmien määrittäminen

Ryhmiä on mahdollista luoda Level Manager -tilasta, jossa Create Group -painikkeella voidaan lisätä uusi ryhmä Group-valikkoon. Objektien lisääminen ryhmään voidaan tehdä esimerkiksi Level Manager -tilasta valitsemalla haluttu objekti ja valitsemalla pudotusvalikosta Send to Group -lista.

Kappaleessa 6.2 käsiteltäviä Virtools-sovelluksen skriptejä varten luotiin 3D-objekteista kaksi erillistä ryhmää. Ensimmäiseen ryhmään valittiin 3D-mallin kaikki objektit, koska ryhmää käytettiin ohjelman suorituksen aikaisen Initial Conditions -tilojen palauttamiseen. Toiseen ryhmään valittiin ne objektit, joita haluttiin Wand-ohjaimen säteen tunnistavan sovelluksessa olevaa toimintoa varten, joka näyttää vaihteen osan nimen sitä osoitettaessa.

6.2 Virtools-sovelluksen skriptit

Virtoolsissa on mahdollista rakentaa toiminnallisuutta 3D-malliin graafisessa editorissa vuokaavio-ohjelmoinnilla. Ohjelmaa rakennetaan lisäämällä editoriin haluttuja Building Block -elementtejä, joiden avulla sovelluksen toiminnallisuus rakennetaan. Tyypillinen Building Block -elementti sisältää sisääntulon, ulostulon ja toimintaa ohjaavat parametrit. Kuvassa 26 on esimerkki Rotate Building Block -elementillä toteutetusta objektin rotaatiosta.



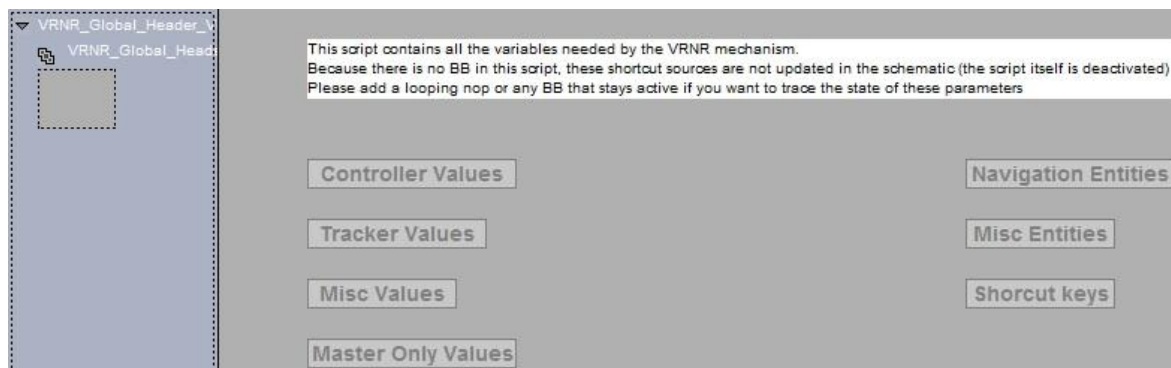
KUVA 26. Esimerkki Building Block -elementillä toteutetusta objektin rotaatiosta.

Virtools suorittaa skriptit ajon aikana tietyssä järjestyksessä, johon on mahdollista vaikuttaa muuttamalla Level Manager -tilassa olevia Priority-kenttien arvoja. Suurimman arvon omaavaa skripti suoritetaan ensin. Ensin kuitenkin suoritetaan Level-tason skriptit prioriteetin mukaan ja tämän jälkeen alemman tason skriptit. Skriptin sisäisessä silmukassa on mahdollista asettaa Building Block -elementtejä yhdistäviin linkkeihin viiveitä ja näin priorisoida haluttuja toimintoja.

Tässä luvussa pyritään selventämään tämän työn keskeisempiä kohtia sovelluksen skripteistä ja selventämään niiden vaikutusta 3D-malliin. Tässä työssä tehdysä CAVE-sovelluksessa voidaan ajaa vaihdekoonpanoa halutulla nopeudella, joka näkyy näytön vasemmassa yläkulmassa. Sovellukseen tehtiin myös säteen-tunnistusta hyödyntävä skripti, joka tulostaa näytölle Wand-ohjaimen säteellä osoitetun osan ja vaihteen nimen.

6.2.1 VRNR-konfiguraatio

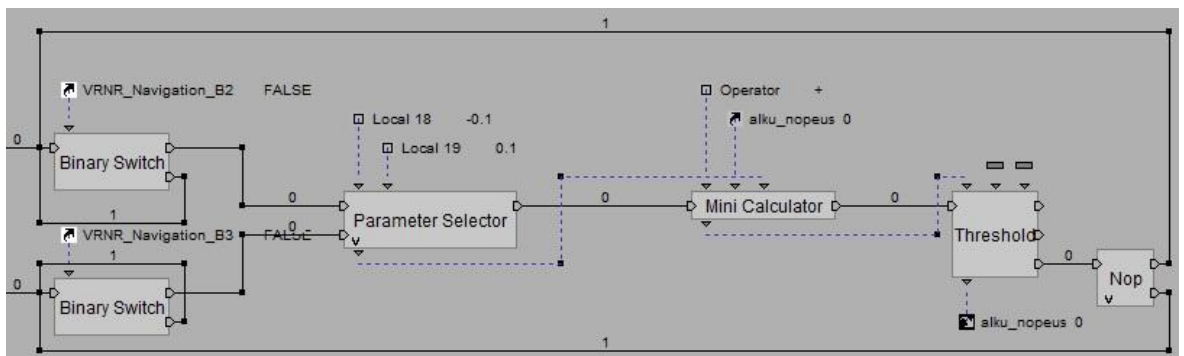
VRNR on Building Block -elementtien, skriptien ja parametrien kokoelma, joka helpottaa virtuaalitilaan rakennettavien sovellusten toteuttamista. Ajettaessa virtuaalitilaan rakennettua sovellusta VRNR-konfiguraatio määrittää dynaamisesti esimerkiksi näyttöjen ja navigoinnin toimintaa. VRNR konfiguroidaan cfg-tiedostojen kautta ja kerran konfiguroitua VRNRää voidaan käyttää helposti jokaisessa virtuaalitilaan rakennettavassa sovelluksessa. VRNR ladataan sovellukseen Virtoolsin dataresurssina (Open Data Resource), joka lisää VRNR-konfiguraation nmo-tiedostot käytettäväksi Virtoolsiin. Vetämällä VRNR_Global_Header.nmo-tiedoston Virtoolsin View-ikkunaan VRNR-konfiguraatio latautuu rakennettavaan sovellukseen. Kuvassa 27 on VRNR-konfiguraation eräs skripti, josta saadaan käyttöön eri parametreja virtuaalitilaan rakennettavan sovelluksen toteutukseen.



KUVA 27. VRNR-konfiguraation eräs skripti.

6.2.2 Pyörimisnopeusalueen määrittäminen ja skriptien prioriteetti

CAVE-sovellukseen tehtiin mahdollisuus muuttaa vaihdekokoonpanon pyörimisnopeutta Wand-ohjaimen painikkeilla välillä 0 - 300 kierrosta minuutissa. Ohjaimen oikeanpuolimmaista painiketta painettaessa nopeusarvo kasvaa ja ohjaimen keskimmaisella painikkeella nopeusarvo pienenee. Kuvassa 28 on pyörimisnopeusalueen määrittämiseen käytetty Level-tason skripti, jossa Parameter Selector Building Block -elementillä lähetetään Mini Calculator Building Block -elementille arvoa 0,1 tai -0,1, joka summaa arvoa alku_nopeus-parametriin. Threshold Building Block -elementillä rajataan alku_nopeus-parametrin arvo halutulle alueelle.



KUVA 28. Pyörimisnopeusalueen määrittäminen.

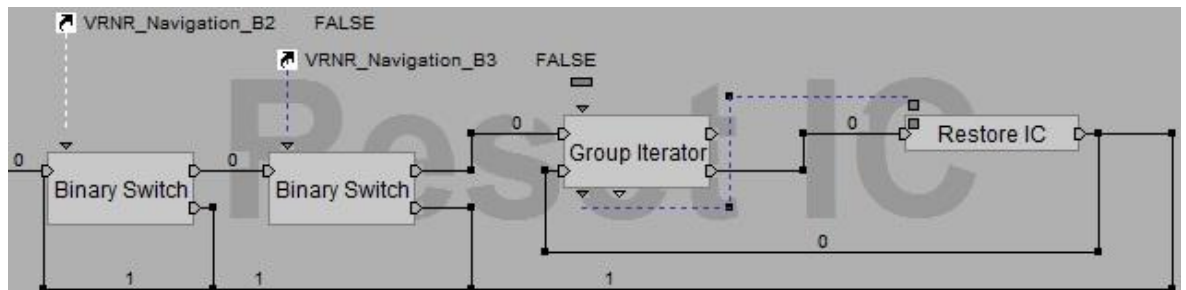
Pyörimisnopeusalueen määrittävä nopeusalueen_maaritys-skripti täytyi priorisoida suoritettavaksi ensimmäisenä, koska ilman priorisointia planeettavaihteen rotaatioissa aiheutui ongelmia muutettaessa pyörimisnopeutta vaihdekokoonpanon ajon aikana. Rotaation nopeusarvoja laskeva rotaatio_arvojen_lasku-skripti priorisoitiin seuraavaksi suoritettavaksi, muiden skriptien prioriteetillä ei ollut vaikutusta toimintaan. Kuvassa 29 on sovelluksen kaikki Level-tason skriptit priorisoituna laskevasa järjestyksessä.

Name	IC	Visible	Activate At Scene Start	Reset At Scene Start	Active Now	Priority
Level Scripts						
nopeusalueen_maaritys	X		A	R	A	7
rotaatio_arvojen_lasku	X		A	R	A	6
planeettavaihde_rotaatio			A	R	A	5
syklovaihde_rotaatio			A	R	A	4
kulmavaihde_rotaatio			A	R	A	3
nopeus_tekstit_ja_osan_tunnistus			A	R	A	2
muut_osat_rotaatio			A	R	A	1

KUVA 29. Level-tason skriptien prioriteetit.

6.2.3 Initial Conditions -tilojen palautus sovelluksen ajon aikana

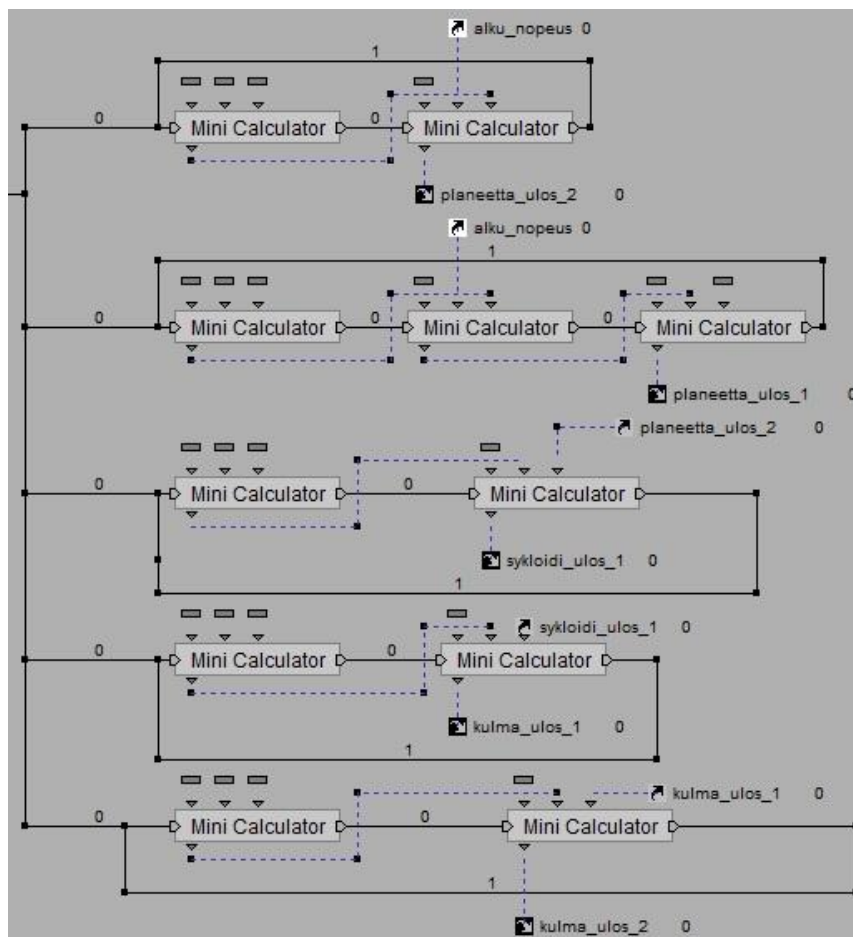
Sovellukseen tehtiin mahdollisuus palauttaa haluttujen objektien Initial Conditions -tilat sen suorituksen aikana, koska sovelluksessa esiintyi pientä vääristymää laskutoimituksissa osittain Virtoolsin rajoitetun desimaalimäärän takia. Vääristymä aiheutti erityisesti planeettavaihteen hammaspyörien hampaiden päällekkäisyyttä pidemmän ajon jälkeen, koska planeettavaihteen osat pyörivät suurimalla nopeudella, jolloin myös laskuvirheet ilmenivät nopeimmin. Initial Conditions -tilojen palauttamiseen käytettiin aiemmin luotua IC_ryhmä-ryhmää, johon oli valittu halutut objektit, tässä tapauksessa 3D-mallin kaikki objektit. Kuvassa 30 on Initial Conditions -tilojen palauttamiseen rakennettu skripti, jossa Group Iterator Buildin Block -elementti lähettää IC_ryhmä-ryhmään valitut objektit Restore IC Building Block -elementille, joka palauttaa ryhmän jokaisen objektin Initial Conditions -tilat. Skripti suoritetaan painettaessa Wandin oikeaa ja keskimmäistä painiketta samaan aikaan.



KUVA 30. Initial Conditions -tilojen palautus sovelluksen ajon aikana.

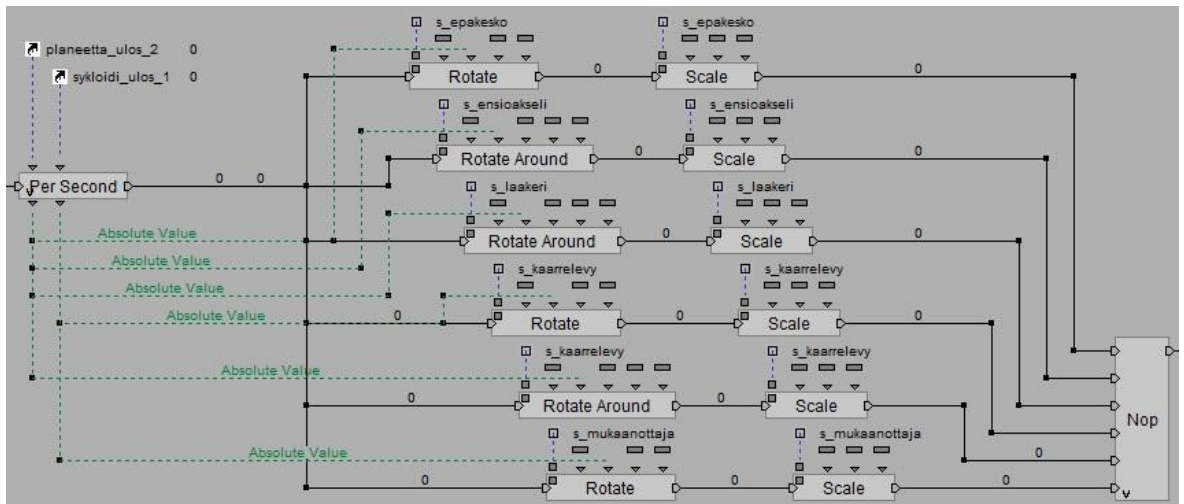
6.2.4 Vaihteiden rotaatio ja rotaatioarvojen laskeminen

Rotaatioon liittyvien arvojen laskenta tehtiin omassa Level-tason skriptissä, jossa laskettiin jokaisen vaihteen osien rotaationopeudet. Laskeminen tehtiin Mini Calculator Building Block -elementillä, laskemalla nopeusalueen_maaritys-skriptissä luotuun alku_nopeus-parametriin perustuvia uusia parametrejä vaihteiden osien välityssuhteisiin perustuen. Kuvassa 31 on rotaatioarvojen laskentaan luotu skripti, jossa alku_nopeus-parametriin perustuen lasketaan jokaisen vaihteen pyörivien osien rotaationopeudet.



KUVA 31. Rotaatioarvojen laskennassa käytetty skripti.

Vaihteiden rotaatiota varten luotiin jokaiselle vaihteelle oma Level-tason skripti, joissa vaihteen osia pyöritetään. Vaihteiden pyöritys tehdään Wand-ohjaimen vasemmalla painikkeella. Kuvassa 32 on syklodivaihteen osien rotaation suorittava skripti, jossa nopeusalueen_maaritys-skriptissä lasketut arvot syötetään Per Second Building Block -elementille, joka lähettää sekunnin aikana suoritettavat rotaatioarvot radiaaneina Rotate ja Rotate Around Building Block -elementeille, jotka suorittavat osan rotaation.



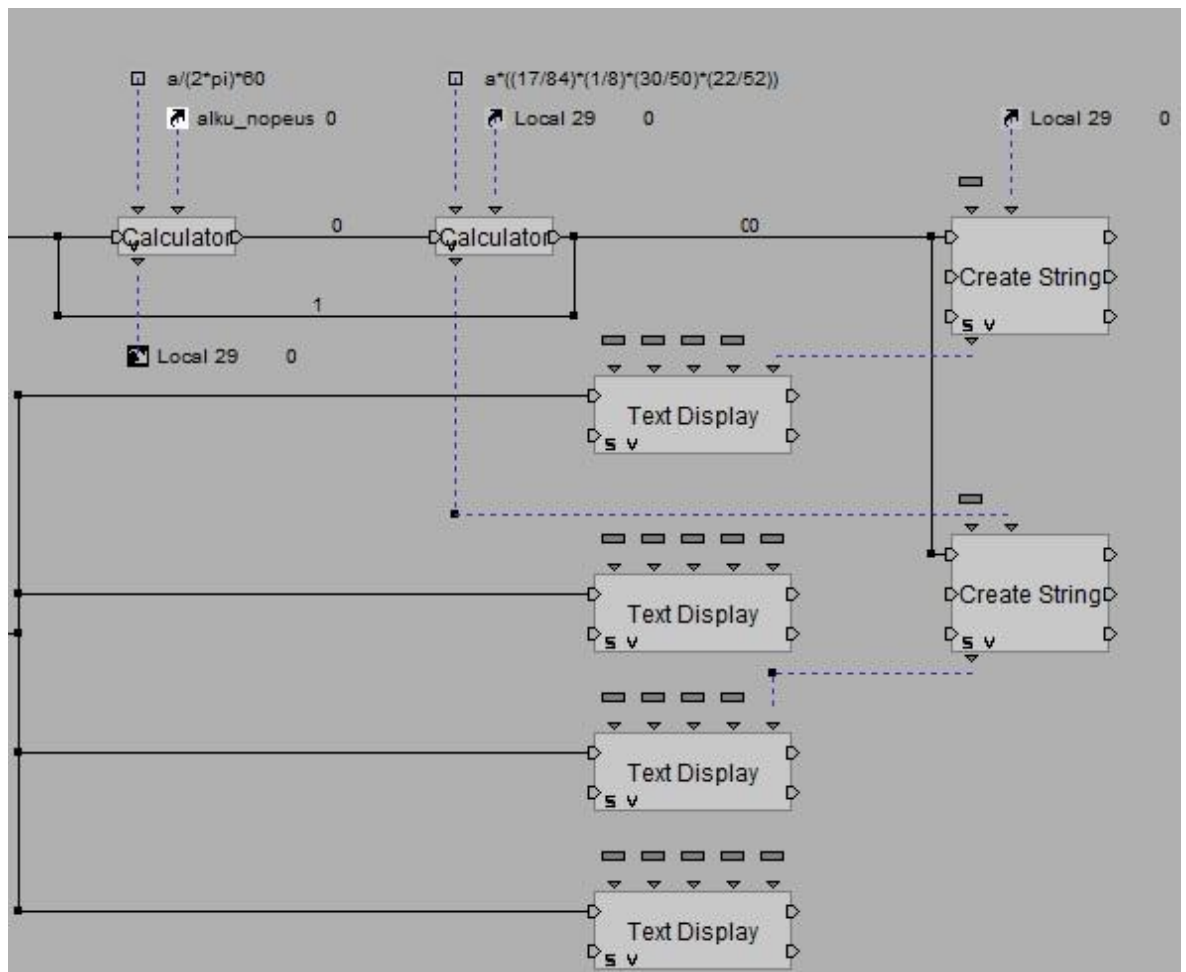
KUVA 32. Vaihteen osien rotaatio-skriptit.

Myös planeetta- ja kulmavaihteen rotaatiot toteutettiin kuvan 32 osoittamalla tavalla, koska jokainen vaihdekokoonpanon liikkuva osa toimii pyörivällä liikkeellä.

Skriptiin jouduttiin lisäämään Rotate Building Block -elementtien jälkeen Scale Building Block -elementit, koska toistaiseksi tuntemattomasta syystä 3D-mallin objektien skaala muuttui pienemmäksi vaihdekokoonpanoa ajettaessa. Scale Building Block -elementit asetettiin skaalaamaan objekteja alkuperäiseen skaalaansa, jolloin ongelma poistui.

6.2.5 Pyörimisnopeusarvojen esitys näytöllä

Pyörimisnopeusarvoja esitetään CAVEn etuseinällä, jossa kahdessa tekstikentässä näkyy vaihdekokoonpanon ensiö- ja toisioakseleiden pyörimisnopeudet. Kuvasssa 33 on pyörimisnopeusarvojen tulostuksen etuseinälle suorittava skripti, jossa alku_nopeus-parametrin arvoja skaalataan kierrosta minuutissa -arvoon Calculator Building Block -elementillä. Toisella Calculator Building Block -elementillä lasketaan toisioakselin pyörimisnopeus kertomalla ensiöakselin pyörimisnopeus koko vaihdekokoonpanon välityssuhteella. Create String Building Block -elementillä konvertoidaan muuttuvat nopeusarvot Text Display Building Block -elementeille sopivaan muotoon, jotka tulostavat arvot CAVEn etuseinälle.

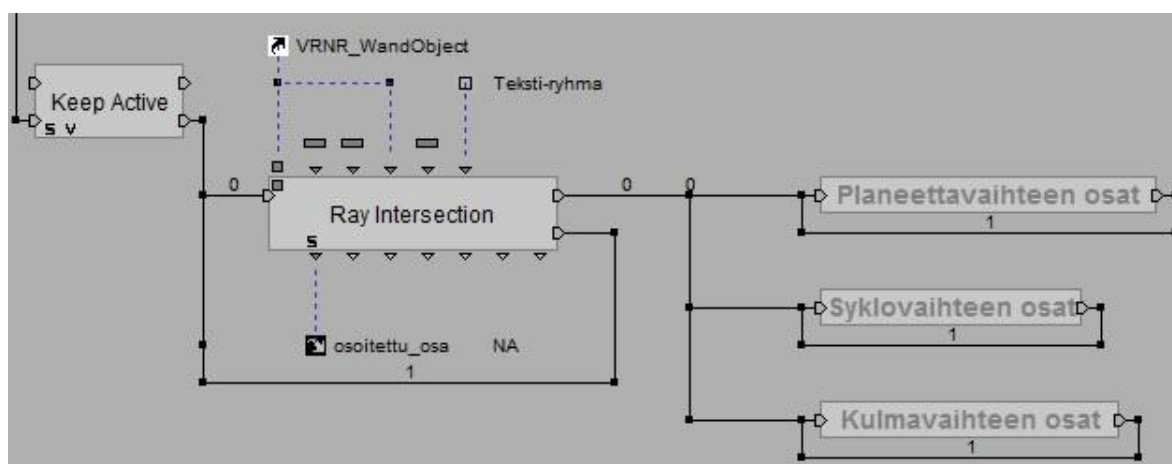


KUVA 33. Nopeusarvojen tulostus CAVEn etuseinälle.

6.2.6 Osan tunnistus Wand-säteellä ja nimen tulostus näytölle

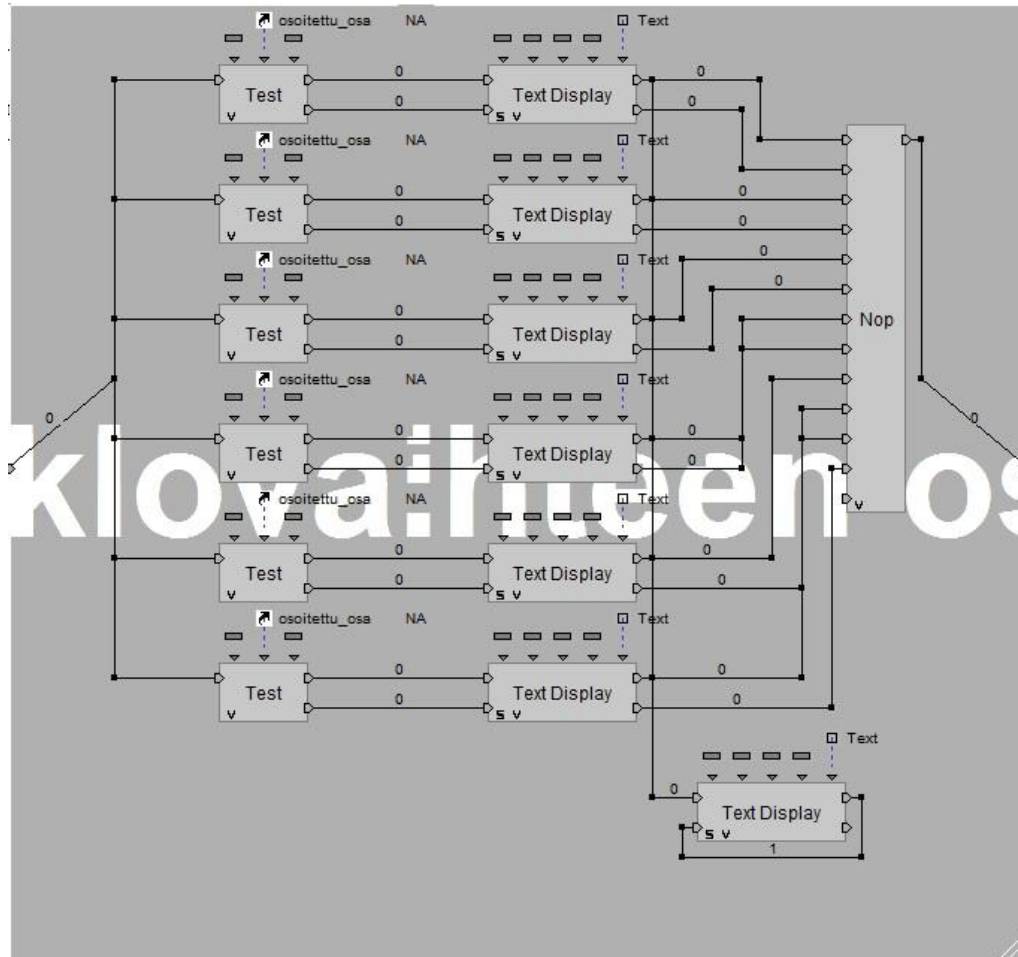
Wand-ohjaimen ominaisuuksiin CAVEssa kuuluu siihen rakennettu säde, joka seuraa ohjaimen liikkeitä reaaliaikaisesti. Sädetä voidaan käyttää esimerkiksi erilaisiin vuorovaikutteisiin toimintoihin käyttäjän ja 3D-mallin välillä. Tähän työhön rakennettiin sädettä hyödyntävä skripti, joka tulostaa CAVEn etuseinälle säteellä osoitetun vaihteen osan nimen.

Kuvassa 34 on säteentunnistusta hyödyntävä skripti, jossa Keep Active Building Block -elementti pitää skriptiä aktiivisena sovelluksen ajon aikana. Ray Intersection Building Block -elementti suorittaa Wand-ohjaimen säteen ja Teksti-ryhmään valittujen objektien välisen tarkastelun niiden mahdollisesta risteämisestä. Säteen määrittäminen Ray Intersection Building Block -elementille saadaan VRNR-konfiguraatiosta tuodulla VRNR_WandObject-parametrilla. Ray Intersection Building Block -elementti päivittää ajon aikana osoitettu_osa-parametriin osoitetun osan objektin nimeä. Tulostus CAVEn etuseinälle tehdään jokaiselle vaihteelle tehdyissä Behavior Graph -elementeissä, jotka sisältävät useita Building Block -elementtejä. Sovelluksen skripteissä mahdollisesti esiintyviä yhtäläisyyksiä on syytä määrittää Behavior Graph -elementeiksi, koska tällöin skripti pysyy siistinä ja sitä on helpompi käsitellä ja lukea.



KUVA 34. Säteentunnistus-skripti.

Kuvassa 35 on sykloidivaihteen osien nimien tulostustuksen CAVEn etuseinälle suorittava Behavior Graph -elementti, jossa osoitettu_osa-parametrin sisältöä ver-rataan Test Building Block -elementeillä vaihteen osien objektien nimiin. Mikäli Test Building Block -elementtiin ennalta asetettu vaihteen osan objektin nimi vas-taa osoitettu_osa-parametrin arvoa, Text Display Building Block -elementti tulostaa vaihteen osan nimen CAVEn etuseinälle. Skriptin alimmainen Text Display Buil-ding Block -elementti tulostaa CAVEn etuseinälle koko vaihteen nimen.



KUVA 35. Sykloidivaihteen osien nimien tulostus CAVEn etuseinälle.

7 TULOKSET

7.1 3D-mallinnus

Tähän opinnäytetyöhön valittiin kolme erityyppistä vaihdetta, jotka mallinnettiin hiukan eri menetelmillä. 3D-mallinnus onnistui hyvin ja sen perusteella saatiin tietoa erityisesti erilaisten hammaspyörien tehokkaasta mallintamisesta Inventorin omilla työkaluilla sekä MITCalc-ohjelmaa apuna käyttäen. Eniten vaikeuksia tuotti sykloidivaihteen mallintaminen toimivan geometrian piirtämisen osalta. Lopulta oikea geometria löytyi vaihteen osille ja mallinnus saatiin viedyksi loppuun.

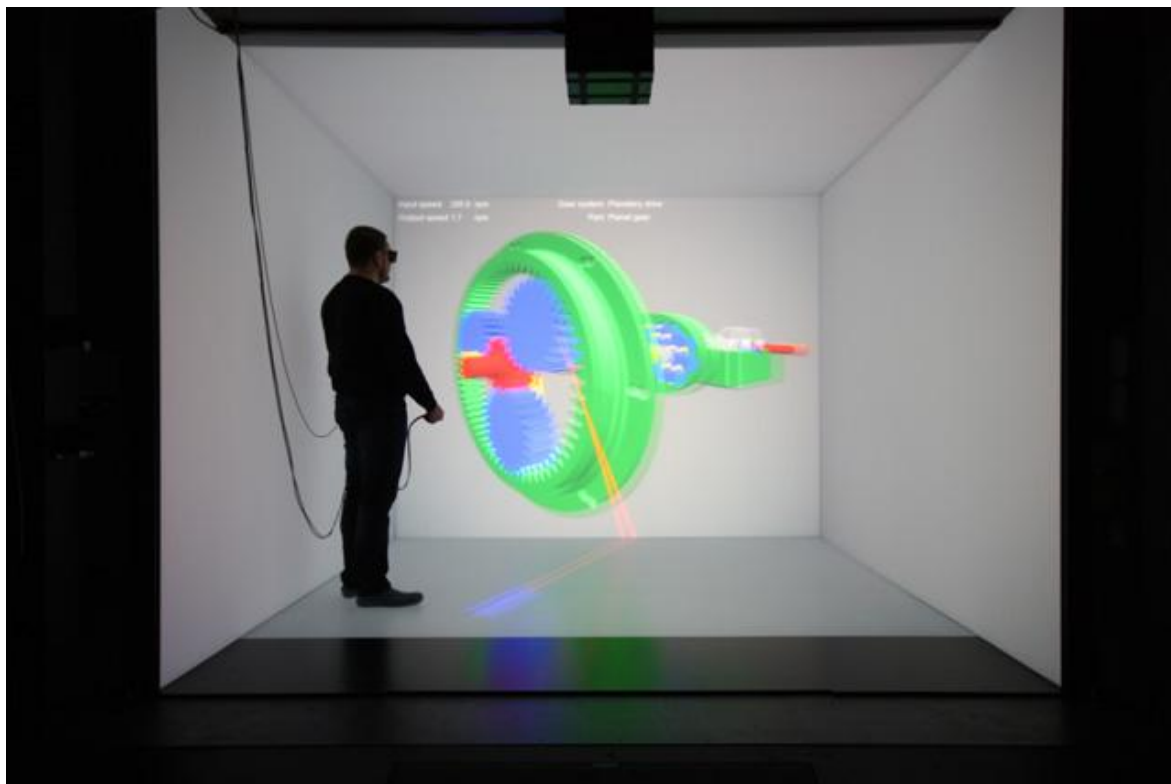
Inventorin Design Accelerator -työkaluista oli tässä opinnäytetyössä suuri hyöty, koska niiden avulla laakerointi ja hammaspyörien mallinnus oli vaivatonta. MITCalc-ohjelmalla saatiin suoraan planeettavaihteen hammaspyörien dxf-tiedostot, mikä helpotti 3D-mallin mallintamista huomattavasti. Yleisesti 3D-mallinnusvaihe oli tarpeeksi haastava ja mielenkiintoinen osuus tässä opinnäytetyössä.

7.2 CAVE-sovellus

Tämän opinnäytetyön lopputuloksena saatiin CAVE-sovellus, jossa käyttäjällä on mahdollisuus tarkastella vaihdekokoonpanon toimintaa virtuaalitilassa. CAVE-sovellukseen rakennettiin mahdollisuus ajaa vaihdekokoonpanoa Wand-ohjaimella nopeudella 0 - 300 kierrosta minuutissa. Vaihdekokoonpanon ensiö- ja toisioakselien pyörimisnopeus esitetään CAVEn etuseinällä, johon myös vaihdekokoonpanon vaihteiden ja niiden osien nimet tulostuu osoitettaessa osia Wand-ohjaimen säteellä. Lisäksi CAVE-sovellukseen rakennettiin mahdollisuus palauttaa vaihdekokoonpanon Initial Conditions -alkutilat sovelluksen ajon aikana.

Yleisesti ottaen Virtoolsilla tehtävän sovelluksen toteutuksen haastavuutta lisäsi saatavilla olevien ohjemateriaalien ja esimerkkisovellusten vähäinen määrä. Suurena apuna oli Seinäjoen ammattikorkeakoulun Tekniikan yksikön Virtuaalitekniikan laboratorion Laboratorioinsinööri Tapio Hellmanin kokemus virtuaalitekniikasta. Skriptin rakentaminen itsessään oli Virtoolsin graafisessa ohjelmointiympäristössä vaivatonta. Halutun toiminnon saavuttamiseksi jouduttiin usein hakemaan useita Building Block -elementtien yhdistelmiä ja testaamaan niiden toimintaa. Skriptien priorisoinnilla oli myös lopulta merkittävä vaikutus sovelluksen toimivuuteen muutamien ongelmakohtien osalta.

Lopputulosta tarkasteltaessa voidaan todeta sen täyttävän opinnäytetyön alussa sille asetetut tavoitteet. Sovelluksen vuorovaikutteisten toimintojen osalta raja asetettiin toteutettuihin toimintoihin, koska vuorovaikutteisuutta olisi voinut viedä vielä pidemmälle, mutta se olisi laajentanut opinnäytetyötä liiaksi. Työssä tehdyt 3D-mallit ja CAVE-sovellus tallennettiin CD-levylle (Liite 1). Kuvassa 36 käyttäjä tarkastelee vaihdekokoonpanoa CAVEssa.



KUVA 36. Käyttäjä tarkastelee vaihdekokoonpanoa CAVEssa.

7.3 3D-visualisointi virtuaalillassa

3D-visualisointi virtuaalillassa tarjoaa hyvän vaihtoehdon erilaisten mekanismien toiminnan tarkasteluun. Tässä opinnäytetyössä rakennettu vuorovaikutteinen CAVE-sovellus auttaa käyttäjää ymmärtämään vaihteiden toimintaa helpommin kuin tavallisesta staattisesta kuvasta. Käyttäjä näkee vaihteet toiminnassa ja voi vaikuttaa niiden toimintaan, mikä todennäköisesti lisää mielenkiintoa asiaa kohtaan. Yleisesti ottaen CAVE on jo itsessään niin mielenkiintoinen ympäristö, että se kiinnostaa katsojaa. Rakentamalla CAVEen mekaniikan opetusta tukevaa sisältöä, se varmasti lisää opetuksen mielenkiintoa ja mekanismien toiminnan ymmärtämistä. Haastavana sisällön tuottamisessa CAVEen voidaan pitää sovelluksen rakentamiseen kuluva aikaa, joka tietenkin vaihtelee sovelluksesta ja tekijästä riippuen.

Tulevaisuuden kannalta yksi tämän opinnäytetyön tarkoituksista oli rakentaa sovellus, joka mahdollisesti innostaisi tulevia opiskelijoita tai opinnäytetyön tekijöitä luomaan uutta sisältöä CAVEen mekanismeihin liittyen tai kehittämään tässä opinnäytetyössä tehtyä sovellusta. Jatkokehityksen kannalta toinen mielenkiintoinen idea voisi olla käyttäjäkokemuksiin perustuva tutkimus, jossa tutkittaisiin käyttäjien kokemusten kautta 3D-visualisoinnin hyödyllisyyttä opetuksen apuna verratessa sitä perinteisiin menetelmiin.

8 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tuottaa 3D-visualisoinnin keinoin mekanismeihin liittyvää opetusta tukevaa sisältöä virtuaalitilaan (CAVE). Alkuvaiheessa visualisoitaviksi mekanismeiksi valittiin kolme erityyppistä vaihdetta. Valittujen sykloidi-, planeetta- ja kulmavaihteiden toiminnan ymmärtäminen staattisesta kuvasta saattaa olla hankalaa, johon 3D-visualisointi virtuaalitilassa tarjoaa hyvän vaihtoehdon vaihteiden toiminnan esittämiseen.

Vaihteiden 3D-mallintamiseen valittiin Autodesk Inventor -ohjelma, joka tarjoaa hyvät työkalut vaihteissa käytettävien hammaspyörien mallintamiseen. Planeetta-vaihteen mallintamisessa käytettiin apuna MITCalc-ohjelmaa, jonka avulla saatiin vaihteen jokaisesta hammaspyörästä dxf-tiedostot. Syklodivaihte mallinnettiin pääosin luonnostelemalla ja kulmavaihteen mallinnuksessa hyödynnettiin Inventorin Desing Accelerator -työkaluja. Lopuksi kaikki vaihteet liitettiin yhdeksi vaihdekokoonpanoksi ja vietiin Autodesk 3ds Max -ohjelman kautta Virtools-ohjelmaan.

Vuorovaikutteisen CAVE-sovelluksen toteutukseen valittiin Virtools-ohjelma, koska sen ominaisuudet vastasivat toteutuksen asettamia vaatimuksia parhaiten. Virtoolsissa toiminnallisuutta 3D-malliin rakennettiin Building Block -elementeistä koostuvilla skripteillä, joita Virtoolsin graafisessa ohjelmointiympäristössä käytetään.

Lopputuloksena saatiin CAVE-sovellus, jossa käyttäjän on mahdollista tarkastella vaihteiden toimintaa vuorovaikutteisessa ympäristössä. CAVE-sovellukseen rakennettiin mahdollisuus ajaa vaihdekokoonpanoa Wand-ohjaimen painikkeilla nopeudella 0 - 300 kierrosta minuutissa. CAVEN etuseinään tulostetaan ensiö- ja toisioakselien pyörimisnopeudet, sekä Wand-ohjaimella osoitetun vaihteen ja sen osien nimet.

Opinnäytetyö onnistui kokonaisuudessaan hyvin ja tarjosi haastavan kokonaisuuden sen monisäikeisyyden vuoksi. Työssä tehdyt 3D-mallit ja CAVE-sovellus tallennettiin CD-levylle (Liite 1)

LÄHTEET

- 3DVIA Virtools. 2011. VR Library / VR Publisher. [WWW-dokumentti]. Dassault Systemes. [Viitattu 4.3.2011]. Saatavissa: http://www.3ds.com/fileadmin/PRODUCTS/3DVIA/3DVIAVirtools/Resources/datasheets/ds_VR_Publisher_3DVIA_eng_LR.pdf
- Airila, M. 1993. Mekatroniikka. 3. korjattu p. Espoo: Otatieto Oy.
- Autodesk. 2010a. 3ds Max. [WWW-dokumentti]. Autodesk Incorporation. [Viitattu 13.9.2010]. Saatavissa: <http://www.autodesk.fi/adsk/servlet/pc/index?siteID=448412&id=14644225>
- Autodesk. 2010b. Autodesk Inventor [WWW-dokumentti]. Autodesk Incorporation. [Viitattu 9.9.2010]. Saatavissa: <http://www.autodesk.fi/adsk/servlet/pc/index?siteID=448412&id=14603173>
- Autodesk. 2011. Autodesk Showcase. [Verkkojulkaisu]. Autodesk Incorporation. [Viitattu 30.1.2011]. Saatavissa: http://images.autodesk.com/emea_nw_w_main/files/showcase_2011_whats_new_brochure_a4_gb.pdf
- Airila, M., Ekman, K., Hautala, P., Kivioja, S., Kleimola, M., Martikka, H., Miettinen, J., Niemi, E., Ranta, A., Rinkinen, J., Salonen, P., Verho, A., Vilenius, M. & Välimaa, V. 2003. Koneenosien suunnittelu. 4. p. Porvoo: WSOY.
- MITCalc. Ei päiväystä. [WWW-dokumentti]. MITCalc. [Viitattu 10.9.2010]. Saatavissa: <http://www.mitcalc.com>
- Tuhola, E. & Viitanen, K. 2008. 3D-mallintaminen suunnittelun apuvälineenä. Tampere: Tammertekniikka.
- Virtuaalilaboratorio 1.10.2010. [WWW-dokumentti]. Seinäjoen ammattikorkeakoulu. [Viitattu 8.11.2010]. Saatavissa: http://www.seamk.fi/Suomeksi/Tutustu_SeAMKiin/Yksikot/SeAMK_Tekniikka/Laboratoriot/Virtuaalitekniikka.iw3

LIITTEET

Liite 1. CD-levy 3D-malleista ja CAVE-sovelluksesta